

SPring-8/SACLA

INFORMATION 利用者情報



ISSN 1341-9668 SPring-8 Document D2022-011

Vol.27 No.3
Summer 2022

SPring-8/SACLA Information

目次 CONTENTS

理事長室から SPring-8, be sustainable for SDGs! Message from President SPring-8, be sustainable for SDGs!	(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	186
1. 最近の研究から/ FROM LATEST RESEARCH			
メスバウアー時間領域干渉計法と中性子スピンエコー法による二次元膜粘性の起源の解明 Elucidation of the origin of two-dimensional membrane viscosity by Mössbauer time domain interferometry and neutron spin echo	Department of Materials Science and Engineering, University of Maryland	長尾 道弘 NAGAO Michihiro	187
長期利用課題報告 1			
ゲノム編集ツール CRISPR-Casヌクレアーゼの構造解析 Structural analysis of CRISPR-Cas nucleases	東京大学大学院 理学系研究科 Graduate School of Science, The University of Tokyo	濡木 理 NUREKI Osamu	193
長期利用課題報告 2			
はやぶさ2サンプルのX線CTを用いた初期分析：技術開発、分析手法評価と分析 Initial analysis of Hayabusa2 samples using X-ray tomography; development and evaluation of the analytical method and actual analysis	立命館大学 総合科学技術研究機構 Research Organization of Science and Technology, Ritsumeikan University	土山 明 TSUCHIYAMA Akira	197
		松野 淳也 MATSUNO Junya	
(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		上根 真之 UESUGI Masayuki	
		上杉 健太郎 UESUGI Kentaro	
東北大学 高度教養教育・学生支援機構 Institute for Excellence in Higher Education, Tohoku University		松本 恵 MATSUMOTO Megumi	
2. 研究会等報告/ WORKSHOP AND COMMITTEE REPORT			
The 9th International Conference on Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy (HAXPES 2022) 会議報告 Report on the 9th International Conference on Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy (HAXPES 2022)	(公財) 高輝度光科学研究センター 放射光利用研究基盤センター 産業利用・産学連携推進室 Industrial Application and Partnership Division, Center for Synchrotron Radiation Research, JASRI	安野 聡 YASUNO Satoshi	207
	(公財) 高輝度光科学研究センター 放射光利用研究基盤センター 分光推進室 Spectroscopy Division, Center for Synchrotron Radiation Research, JASRI	高木 康多 TAKAGI Yasumasa	
第15回X線顕微鏡国際会議 (XRM2022) 報告 The 15th International Conference on X-ray Microscope (XRM2022) Report	(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	213
第22回SPring-8夏の学校を終えて The 22nd SPring-8 Summer School	SPring-8 夏の学校実行委員会 委員長 SPring-8 Summer School Executive Committee, Chair	八木 直人 YAGI Naoto	218
3. SPring-8/SACLA 通信/ SPring-8/SACLA COMMUNICATIONS			
2023A 期 SACLA 利用研究課題の募集について Call for 2023A 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		222
2023A 期 SACLA 試験利用の募集について Call for Proposals for 2023A 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		223
2022B 期 SACLA 利用研究課題の採択について The SACLA Public Proposals Approved for Beamtime in 2022B 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		224

Post-Project Review of Long-term Proposals Starting in 2018A -4-	(公財) 高輝度光科学研究センター 利用推進部 User Administration Division, JASRI	226	
2019A 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 2019A -2-	(公財) 高輝度光科学研究センター 利用推進部 User Administration Division, JASRI	227	
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	229	
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	231	
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	235	
SPring-8/SACLA 研究成果公表 論文サイテーション数調査 -2022- Statistical Analysis on Publications and Citations at SPring-8/SACLA 2022	(公財) 高輝度光科学研究センター 利用推進部 User Administration Division, JASRI	260	
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	265	
専用ビームラインにおける評価・審査の結果について Review Results of Contract Beamlines	(公財) 高輝度光科学研究センター 利用推進部 User Administration Division, JASRI	268	
回折・散乱 I ビームライン BL13XU の現状 Current status of X-ray Diffraction and Scattering I beamline BL13XU	(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	隅谷 和嗣 SUMITANI Kazushi 河口 彰吾 KAWAGUCHI Shogo 山田 大貴 YAMADA Hiroki 小林 慎太郎 KOBAYASHI Shintaro 小金澤 智之 KOGANEZAWA Tomoyuki ロシャンタ クマール Rosantha KUMARA	274
BL40B2 への液体試料交換用アーム駆動機構の導入 Articulated Arm for Liquid Sample Replacement at BL40B2	(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	太田 昇 OHTA Noboru	280
SACLA におけるリモート実験システムの開発 System Development for Remote Experiments at SACLA	(国) 理化学研究所 放射光科学研究センター RIKEN SPring-8 Center	宮西 宏併 MIYANISHI Kohei 本村 幸治 MOTOMURA Koji	
	(公財) 高輝度光科学研究センター XFEL 利用研究推進室 / (国) 理化学研究所 放射光科学研究センター XFEL Utilization Division, JASRI / RIKEN SPring-8 Center	藪内 俊毅 YABUCHI Toshinori 城地 保昌 JOTI Yasumasa	282

利用系活動報告

放射光利用研究基盤センター 構造生物学推進室 相関構造解析チーム

Activity Reports - Integrated Structural Analysis Team, Structural Biology 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 構造生物学推進室

Structural Biology Division, Center for Synchrotron Radiation Research, JASRI

熊坂 崇

KUMASAKA Takashi 286

4. 談話室・ユーザー便り/USER LOUNGE・LETTERS FROM USERS

SPring-8 ユーザー協同体 (SPRUC) 四季報

SPRUC Communications

SPring-8 ユーザー協同体 (SPRUC) 会長/筑波大学 数理物質系物理学域 エネルギー物質科学研究センター

Faculty of Pure and Applied Sciences, University of Tsukuba

西堀 英治

NISHIBORI Eiji 290

5. 告知板/ANNOUNCEMENTS

第 19 回 SPring-8 産業利用報告会

The 19th Joint Conference on Industrial Applications of SPring-8 291

SPring-8 シンポジウム 2022 ～SPring-8 がつむぐ学術と社会のリンケージ～

SPring-8 Symposium 2022 292

SPring-8, be sustainable for SDGs!

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

猛暑や集中豪雨の異常気象を身近に感じる昨今、地球温暖化対策に向けた取り組みの必要性を強く感じます。SPring-8/SACLA では昨年8月に、SDGs やカーボンニュートラルに資するグリーンイノベーションを目指す研究開発活動を一層推進するグリーンファシリティ宣言を行いました¹⁾。人類の活動が地球の生態系に与える影響が無視できなくなった地質時代における時代区分は「人新世」²⁾と呼ばれ、その影響が特に第2次世界大戦後に劇的に増加していることから、地球温暖化は科学技術の進歩がもたらした負の側面であることは明らかです。その意味でも、問題解決のために科学技術の果たすべき責任、特にSPring-8が果たすべき責任は非常に大きいと考えます。

SDGs には、成長の限界³⁾や地球の限界⁴⁾という考え方が大きく反映されています。ここでいう限界とは、「増加に関わる上限」を意味していますが、日本国内に目を転じると、皮肉にも、解決すべき問題は、「減少に関わる下限」に関するものが山積しています。人口の減少、それに伴う後継者の不足、地方都市機能の不全、老朽化による社会インフラの不全、電力の不足等々の問題です。

「万物は流転する」、「諸行無常」といわれるように自然界は絶えず変化しているので、人間活動や人間社会が変化すること自体に問題があるのではなく、「増加」であれ「減少」であれ、それがレジリエント（回復可能）であることが求められるのだと思います。物理学の言葉でいえば、その変化が不可逆的か可逆的、塑性的か弾性的かの問題であり、人間活動や社会の変化の時定数が自然界の有する時定数と整合するようにデザインできるか否かが重要なポイントです。気候変動、海洋汚染、土地汚染、オゾンホールや生物多様性の問題、然りです。

我が国には、式年遷宮という伝統があり、三重の伊勢神宮では原則20年ごとに新しい社殿を造ってご神体を移します。この伝統があるため、伊勢神宮は約1300年に渡ってSustainableであり続けてきました。20年という時間の長さは、社殿の老朽化の時定数、また、社殿を造る宮大工の世代交代の時定数に整合した時間の長さであり、式年遷宮は古来の日本人の知恵であり、世界に誇るSDGsの良き見本であるといえます。

SPring-8は稼働を始めて25年の節目を迎えました。施設の主要部の老朽化も顕著になりつつあります。SPring-8を支える研究者の世代交代、若い人材の育成が必須な時期を迎えています。SDGsを目指すSPring-8自体がSustainableであることが必要であり、25年の節目を迎えたSPring-8は、変化(SPring-8→SPring-8-II)の時定数に至っていると強く感じます。皆様のご支援をよろしく申し上げます。

1) http://www.spring8.or.jp/ja/news_publications/press_release/2021/210823/

2) <https://ja.wikipedia.org/wiki/人新世>

3) <https://ja.wikipedia.org/wiki/成長の限界>

4) <https://ja.wikipedia.org/wiki/プラネタリー・バウンダリー>

メスバウアー時間領域干渉計法と中性子スピネコー法による 二次元膜粘性の起源の解明

Department of Materials Science and Engineering,
University of Maryland 長尾 道弘

Abstract

細胞膜の基本構造である脂質二重膜の運動性は様々な生物学的機能の発現に重要である。多様な膜の運動性のうち膜内での輸送係数は脂質やタンパク質などの膜構成成分の再配置に直接関係する。これら輸送係数のうち運動量輸送に関わる粘性係数の研究はまだあまり多くない。脂質二重膜は僅か二分子が形成する 5 nm 程度の厚みを有する二次元膜であり、膜の粘性係数を測定することはそれ自体が本質的に難しい。本研究では放射光によって誘起された共鳴ガンマ線を利用したメスバウアー時間領域干渉計法と中性子スピネコー法を相補利用することにより脂質分子の構造緩和運動を観測し、その緩和時間と膜の粘性係数を実験的に直接関連づけた。

1. 序論

我々の体は数十兆個にもおよぶ細胞から形成されている。細胞の一つ一つは細胞膜で覆われ、外部から栄養素を取り込み、老廃物を廃棄することにより多様な細胞機能を発現し、我々の生命が維持されている。細胞膜は細胞内外を連携する重要な境界であり、物質輸送に十分な流動性を有している必要がある一方で細胞の形態を維持するだけの十分な剛性が必要である。このような二つの相反する要求を満たすため、自然は脂質分子を細胞膜の基本成分として採用している。

脂質分子は一般的に両親媒性の分子であり、一分子に親水基と疎水基を併せ持つ。親水基には水酸基、リン酸基などの多様性があり、疎水基にはアシル鎖長、炭化水素鎖飽和度などの多様性がある^[1]。細胞膜は多成分系で、様々な脂質分子が異なる組成で混合することにより多様な膜特性を調整していると考えられている。現在までに 4 万種を超える化学構造の異なる脂質分子が同定されており^[2]、細胞膜やゴルジ体あるいはミトコンドリアなどの異なった細胞小器官では異なった脂質分子が異なった組成で膜を形成する^[3]。しかしながら、何故その様に多種類の分子が必要なのか、その物理的要因はまだ十分に理解されていない。

最もよく知られている大きな特徴は脂質分子疎水鎖の融解転移である。典型的なリン脂質の一種である dimyristoylphosphocholine (DMPC) は 2 本のアシ

ル鎖を持ち、その融解転移温度は $T_m = 297$ K である。図 1 に模式的に示す様に $T < T_m$ ではアシル鎖が凍結した構造を取り、その運動性が下がる。一般的に固体膜（あるいは脂質ゲル相）と呼ばれる状態である。一方、 $T > T_m$ ではアシル鎖が融解することにより分子の運動性が上がり、膜は液体膜（あるいは脂質液体相）状態にある。生命活動は液体膜上で繰り広げられていることが知られているが、液体膜中でも様々な構成分子がドメインなどのヘテロな構造を有し、タンパク質などが様々な生命活動に寄与している。

例えば、膜タンパク質が膜上の機能発現サイトへ運ばれ、形態を変化させながら役割を果たそうとする時、膜が固体であれば輸送も変形もできずに生物は機能しない。生命現象は様々なプロセスの連鎖からなるので、タンパク質の輸送や変形はこれらのプロセスの速度論を考察する上で極めて重要である。生物は気温の変化に敏感に反応し膜の流動性を一定に保と

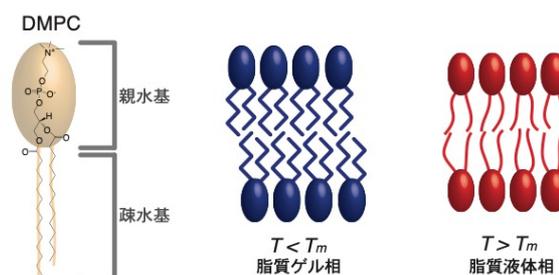


図 1 脂質分子の模式図（左）と温度変化による脂質アシル鎖融解転移が誘起する脂質ゲル相と液体相。

うとする機能を有している(恒流動性適応)。膜の構成成分組成を変化させることによって流動性を一定に保つのである。このような膜の流動性の本質は膜の粘性であると考えられるが、では、何が膜の粘性を支配しているのだろうか。

脂質膜は脂質分子が疎水基を内側に、親水基を外側にむけた二分子分の厚み、約5 nmを有している。このように非常に薄い膜の粘性係数を測定することはそれ自体が実験的な困難を伴う。10 μm 程度の大きさのベシクル表面にナノ粒子を吸着させ重力による沈降速度を計測することにより膜の粘性率を計算する surface viscosimetry⁴⁾、基板表面に μm サイズの半球を吸着させ半球上の流動場変化をベシクル周辺の液体の流動場から見積もることによって膜の粘性率を見積もる方法⁵⁾、膜に蛍光標的などを吸着させその並進や回転の拡散運動から計測する方法^{6,7)}、電界によるベシクル変形からの回復時間が膜の粘性に依存することを利用した計測方法⁸⁾など、顕微鏡を使った多数の測定方法が提案されてきている。これらの方法はほぼ全てが非平衡状態における測定であり、膜に何らかの摂動を加えることによる測定である。また観測の時間空間スケールが比較的大きいことから、これらの手法は膜の粘性をマクロなパラメータとして計測している。一方、中性子散乱を使い、メゾスコピックスケール(10 nm程度)における100 ns程度の熱平衡の揺らぎ運動から膜の粘性を計測する方法が提案されている^{9,10)}。さらに、コンピュータシミュレーションを用いて膜に非平衡な流動変形を加えて膜の粘性を計算する方法なども開発されている^{11,12)}。しかしながら、得られている膜の粘性率の大きさは測定手法に応じて異なり、数桁にわたって広く分布している。

そこで本研究では膜の粘性の分子的な起源を探ることを目的とし、共鳴ガンマ線によるメスバウアー時間領域干渉計(Mössbauer Time Domain Interferometry; MTDI)法と中性子スピネコー(Neutron Spin Echo; NSE)法を相補的に利用し、典型的なリン脂質分子の構造緩和運動を調べた¹³⁾。

2. 液体の粘性と構造緩和

一般に、液体の粘性の本質についての研究は盛んに行われている。通常の分子性液体の場合、分子間相互

作用に基づく構造形成とその緩和がマクロな液体の粘性と関連していることが知られている。しかし、一般的な液体の粘性ですら様々な時間空間スケールに及ぶ複雑な分子間相互作用のため、その議論は複雑となる。Mezeiらは液体のガラス転移近傍での構造と運動がマクロな物性に及ぼす影響を調べた¹⁴⁾。また、Wuttkeらは、グリセロールの重心間相関の緩和時間とマクロな粘性が同一の温度依存性を示すことを実験的に明確にし、分子間の構造緩和がマクロな粘性の起源であることを示した¹⁵⁾。より複雑な分子間相互作用を有するような系では、より長周期の構造相関が重要になるケースも見られるが、一般的には分子間の相互作用の強さが分子運動に対する抵抗となり、それがマクロには粘性として現れると考えることができる。液体におけるグリーン・久保理論は粘性の分子論的起源を応力テンソルの時間相関関数として理解する^{16,17)}。近年、山口はこの理論を適応して単純液体の構造緩和が液体の粘性の微視的起源であることを論じている¹⁸⁾。本研究では、このような三次元液体で見られる粘性率 η と構造緩和の緩和時間 τ が絶対温度 T の変化に対して $\eta \sim \tau T$ の関係に従う¹⁴⁾ことに着目し、脂質アシル鎖相関の構造緩和を基に二次元膜の粘性の議論を行った。

3. 実験

本研究ではモデルリン脂質膜としてDMPCを水中に分散した多層膜ベシクルを用いた。X線散乱実験にはDMPCと H_2O の混合系を、中性子散乱実験にはアシル鎖を重水素化したDMPC- d_{54} と D_2O の混合系を用いた。DMPCの濃度は400 mg/mLとした。DMPC- d_{54} と D_2O を中性子散乱に用いる理由は、H原子から生じる非常に強い中性子非干渉性散乱を抑制し、脂質アシル鎖間の相関を精度良く測定するためである。

共鳴ガンマ線を用いたMTDI実験にはSPRING-8のBL09XUに設置されたものを利用した。実験手法の詳細は文献^{19,20)}を参照いただきたい。ここでは簡単にその原理を紹介する。⁵⁷Fe原子核は放射光の入射によって共鳴ガンマ線を放射する。このガンマ線はエネルギー14.4 keV \pm 4.7 neVという極めて単色性の高いビームである。この共鳴ガンマ線はおおよそ140 nsの緩和時間で減衰する。このような⁵⁷Fe原子核を試料前後

に設置し、それぞれ共鳴ガンマ線を発生させる。一方の共鳴ガンマ線のエネルギーをドップラーシフトによって変化させた場合、これら二つの ^{57}Fe から放射された共鳴ガンマ線は時間領域で干渉し、うなりを生じる。もし試料中で拡散などの運動によってガンマ線が散乱されると、時間領域でのうなりパターンが変化する。この変化を捉えることによって物質中の運動を観測するのがメスバウアー時間領域干渉計である。この手法では、放射光ストレージリングのバンチモード運転を利用し、バンチ間隔 (SPring-8 の F モード運転の場合およそ 340 ns) の時間までのガンマ線の干渉の様子を観察できる。本実験での観測時間域はおよそ 10 ns から 300 ns であり、実験データは中間散乱関数 $I(q, t)$ として取得される。ここで、 q は散乱ベクトルの大きさ、 t は時間である。

一方、NSE 法は MTDI 法がカバーする時間領域よりも早い時間の運動観測に利用される。中性子はスピン自由度を有するため、中性子スピンを揃えた偏極中性子を利用できる^[21,22]。中性子スピンは磁場中で歳差運動を行うので、NSE では偏極中性子の歳差運動を試料前後でちょうど反転するように磁場環境を設定しておく。これにより試料からの散乱が弾性散乱 (散乱による中性子エネルギー変化がない散乱) であれば中性子の偏極率は散乱前後で変化しないが、非弾性散乱の場合には中性子のエネルギー変化に応じて偏極率が変化する。この偏極率変化は試料の中間散乱関数に直接比例することから系の運動の様子を知ることができる。NSE 法の時間分解能は入射中性子の波長の 3 乗と歳差磁場の大きさに比例する。米国標準技術研究所に設置された NSE 装置では波長 6 Å の中性子で数 ps から 16 ns までの時間領域をカバーできる。NSE と MTDI の組み合わせにより、ps から 100 ns の 5 桁にわたる分子運動にアクセスすることが可能であることを強調しておく。

DMPC は疎水基として二本の飽和アシル鎖が、およそ 5 Å の距離を取るように配列している。図 2 に J-PARC に設置された大観を用いて測定したアシル鎖からの回折パターンを示すが、アシル鎖の相関に応じた散乱ピークが $q \approx 1.5 \text{ \AA}^{-1}$ に現れる^[13]。DMPC は $T_m = 297 \text{ K}$ (DMPC- d_{54} は $T_m = 294 \text{ K}$) にアシル鎖の融解転移温度をもち、これより低温の脂質ゲル相では

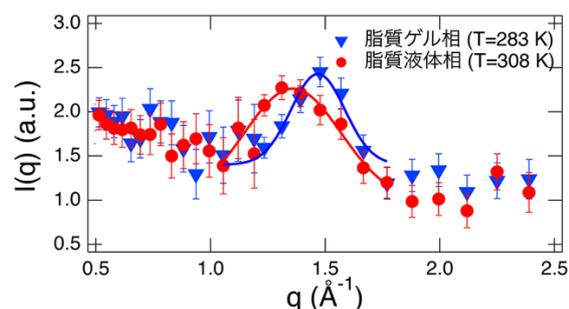


図2 D₂O に溶解した DMPC- d_{54} が作る多層膜ベシクルのアシル鎖からの中性子回折パターン。

<http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.127.078102> より許可を得て再掲載。

アシル鎖は秩序的に配置しているため、図中青シンボルで示す様にピークも鋭い。一方、高温の脂質液体相ではアシル鎖は融解し、ピークも図中赤で示した様に低角側へシフトするとともにブロードになる。この変化は脂質アシル鎖の構造状態を反映した結果であり、本研究ではこのピーク位置におけるダイナミクスの測定を行った。

4. 結果と考察

図 3 に NSE および MTDI により測定された中間散乱関数 $I(q, t)/I(q, 0)$ の温度依存性を示す。ここで、NSE データは重水からの散乱を取り除き、DMPC- d_{54} の動きだけを取り出した結果であり、 $t \approx 0$ で $I(q, t)/I(q, 0)$ は 1 から始まっている。一方、MTDI データは NSE データにスムーズに繋がるように、右軸のスケールを調整してある。また、温度は融解転移点 T_m からの相対温度で表示した。

$T < T_m$ の脂質ゲル相ではアシル鎖は秩序的に並んでいると考えられてきたが、今回の NSE および MTDI 測定により、ps から数百 ns の約 5 桁の時間オーダーにわたって緩やかに構造が緩和していることがわかった。NSE 及び MTDI データは拡張指数関数

$$I(q, t)/I(q, 0) = C \exp \left[-(t/\tau_{gel})^\beta \right]$$

によりフィットした。ここで、 C は係数で、NSE では $C = 1$ 、MTDI ではフィットパラメータとした。 τ_{gel} 及び β は脂質ゲル相における緩和時間及び拡張指数である。一般的に、拡散運動の場合には $\beta = 1$ となるが、本実験では NSE データの解析から $\beta \approx 0.34$ の

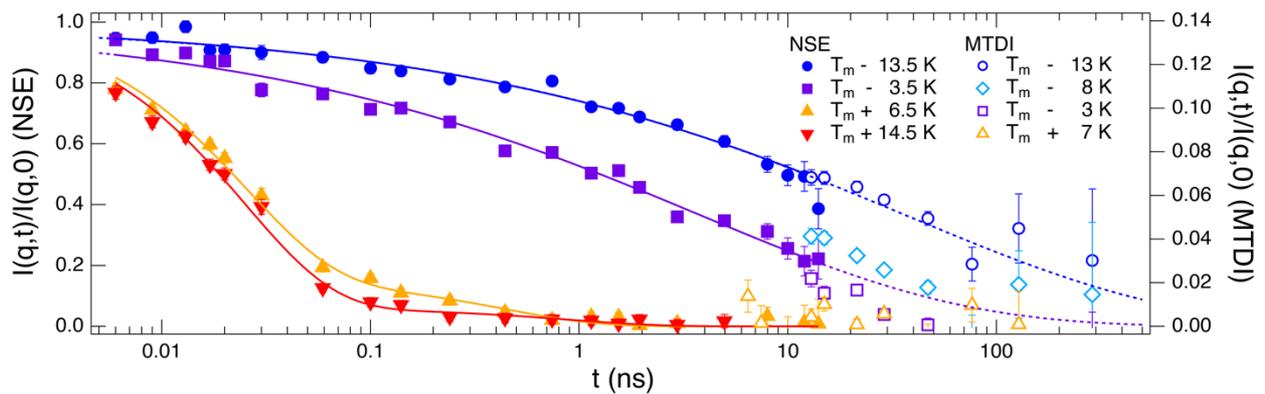


図3 NSE 及び MTDI により測定された DMPC 膜のアシル鎖の構造相関の中間散乱関数の温度依存性。

<http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.127.078102> より許可を得て再掲載。

値が得られた。これは、ここで見られている緩和モードの緩和時間が不均一で、緩和時間の分布が非常に広いことを示している。また平均緩和時間を

$$\langle \tau_{gel} \rangle = \frac{\tau_{gel}}{\beta} \Gamma(1/\beta)$$

により計算し、図4に $\langle \tau_{NSE} \rangle$ 及び $\langle \tau_{MTDI} \rangle$ として示した。ここで $\Gamma(x)$ はガンマ関数である。脂質ゲル相での平均緩和時間は転移点近傍では数十 ns 程度であるが、温度が下がるにつれて急激に大きくなり、 $T - T_m \approx -15$ K では数百 ns まで遅くなる様子が捉えられた。

一方、高温 ($T - T_m > 0$) での緩和は脂質ゲル相とその様子が異なる。0.1 ns までの早い時間スケールで見られる緩和と 0.1 ns 付近に見られる別の緩和モードの二段階の緩和が見られることがわかる。ここでは、二つの独立な緩和モードの重ね合わせを仮定し、

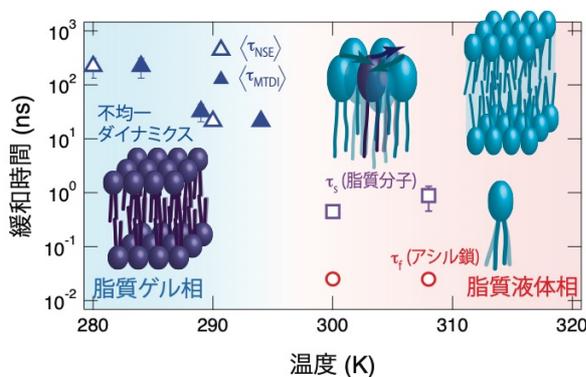


図4 NSE 及び MTDI 測定から得られた緩和時間の温度依存性。内装図は脂質分子の模式モデルであり、液体相での2種類の緩和がアシル鎖及び脂質分子の密度揺らぎに起因することを模式的に示す。

$$\frac{I(q,t)}{I(q,0)} = A \exp[-t/\tau_f] + (1 - A) \exp[-t/\tau_s]$$

によりフィットした。これにより、速い緩和と遅い緩和のそれぞれの緩和時間 τ_f 及び τ_s を決定し、図4に示した。これらの緩和の緩和時間はあまり温度変化せず、 $\tau_f \approx 30$ ps 及び $\tau_s \approx 500$ ps 程度と見積もられた。Rheinstädter らは基板に固定された DMPC-d₅₄ の重水膨潤膜のダイナミクスを中性子背面反射装置により測定し、アシル鎖相関ダイナミクスとしておよそ 50 ps の緩和時間を持つ運動が見られることを指摘している^[23]。本研究では運動を5桁にわたる時間領域で観測していることから、これらの時間領域に見られる緩和の描像をより詳細に決定できた。

では、これら二つの緩和はどのような運動モードに対応するのであろうか。DMPC のアシル鎖は炭素数 14 の炭化水素鎖であり、三次元のテトラデカン (C₁₄H₃₀) の炭化水素鎖に非常に近い。山口はコンピュータシミュレーションによってテトラデカンの重心相関位置 ($q \approx 1.4 \text{ \AA}^{-1}$) における構造緩和の緩和時間が温度 $T_f = 298$ K で $\tau_f \approx 3$ ps 程度であることを示している^[18]。この緩和時間から計算された液体の粘性率は実験で得られているマクロな粘性率 $\eta_f \approx 2.73$ mPa·s とよく一致しており、シミュレーション結果が妥当であると考えられる。テトラデカンのアルキル鎖の構造緩和時間が 3 ps である一方、本実験から得られた DMPC アシル鎖の早い運動モードはこれよりも一桁遅い緩和時間を示している。これは、C₁₄ の炭化水素鎖を二次元に閉じ込め、配向秩序と片端を親水基に結合するという構造上の制約を加えることにより

アシル鎖自身の構造緩和が三次元液体状態の炭化水素鎖よりも一桁程度遅くなる、として理解できる。

一方の遅い運動モードは脂質分子自身が再配置する構造緩和時間を表すと考えることができる。この場合、その緩和時間は脂質分子の拡散運動と関連していると考えられる。核磁気共鳴 (NMR) 法により求められている脂質分子の拡散係数は $T = 308 \text{ K}$ で $D \approx 1 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ である^[24]。拡散運動の緩和時間 τ_D は $\tau_D = 1/(Dq^2)$ により計算することができ、我々の測定条件 $q \approx 1.5 \text{ \AA}^{-1}$ では、 $\tau_D \approx 450 \text{ ps}$ と計算され、我々の測定結果 ($\tau_s \approx 500 \text{ ps}$) とよく一致する。

上述した様に三次元液体の粘性係数と構造緩和時間の間には $\eta \sim \tau T$ の関係が成り立っている^[14]。この関係を二次元膜に拡張することによって膜の粘性率を見積もってみる。参照として、 $T_r = 298 \text{ K}$ におけるテトラデカンの構造緩和の緩和時間 $\tau_r \approx 3 \text{ ps}$ と粘性率 $\eta_r \approx 2.73 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ を利用する^[18]。脂質分子に対して得られている緩和時間 τ_{lipid} に対して、以下の比例関係を用いることによって脂質分子の粘性率を計算することができる。

$$\eta_{lipid} = \frac{\tau_{lipid} T_{lipid}}{\tau_r T_r} \eta_r$$

この粘性率は DMPC が三次元に均一に分布している場合の粘性率と考えられる。一方、三次元物体を二次元に閉じ込めた場合の均一な二次元膜の表面粘度 (あるいは膜粘度) は $\eta_m \approx d_m \eta$ で表される^[25]。ここで、 d_m は膜の厚みであり、DMPC の膜厚は以前の研究からおおよそ 3.5 nm である^[26]。これらの関係を利用して計算した膜粘度 η_m の温度依存性を図5に示した。高温の脂質液体相では二つの緩和時間が観測されたが、そのうちの遅い緩和モードから計算された膜粘度は数桁にわたる広い膜粘度の文献値のほぼ中心に見られる。このことから、脂質分子の拡散に寄与する脂質分子間の相互作用が膜粘度の分子的起源であることが強く示唆される。一方、脂質ゲル相での膜粘度はこれまでに観測されたことがなく、本研究によって初めて求められた。脂質液体相に比較して一桁から二桁ほど大きな膜粘度を示すことが得られたが、これは、例えば膜の弾性率が脂質液体相と脂質ゲル相で一桁ほど異なること^[27]と整合する。

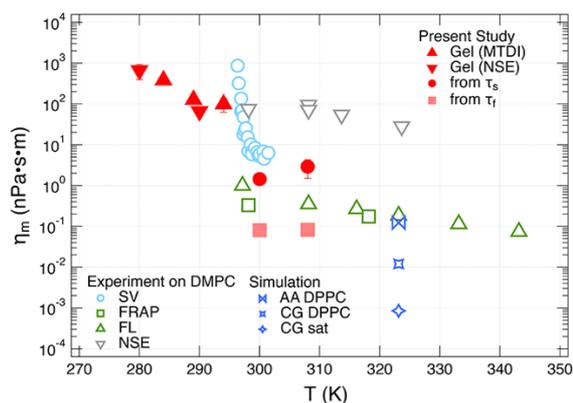


図5 様々な手法によって見積もられている脂質膜粘度。実験データはNSE^[9]、Surface Viscosimetry (SV)^[4]、Fluorescent Recovery After Photobleaching (FRAP)^[28]及びFluorescence Lifetime (FL)^[29]、一方、シミュレーションデータは飽和脂質のcoarse grained (CG sat)^[11]、DPPCモデルのcoarse grained (CG DPPC)^[30]及び全原子シミュレーション(AA DPPC)^[12]である。
<http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.127.078102> より許可を得て再掲載。

5. 結論と展望

脂質分子は細胞膜のモデル物質としてその物理化学的性質の理解が進められてきた。本研究では脂質膜粘性の分子論的起源に迫るべく、X線と中性子準弾性散乱により典型的な脂質アシル鎖の構造緩和をpsから数百nsという広い時間領域にわたって調べた。その結果、生物学的に不可欠な脂質液体相ではアシル鎖及び脂質分子の構造揺らぎの緩和時間を決定した。三次元液体の構造緩和と粘性の関係を二次元膜に拡張して計算した膜粘度から、脂質分子の構造揺らぎが粘性の起源であることが示唆された。一方、脂質ゲル相ではアシル鎖の非常に不均一な運動の描像が見出された。脂質ゲル相での膜粘度はこの様なヘテロな運動の平均緩和時間から算出され脂質液体相より一桁以上大きな粘性率を示すことがわかった。

今後の方向性として、生物学的により重要であると考えられているステロール混合膜に見られる脂質液体秩序相のダイナミクスは非常に興味深い。また、4万種超の化学的に異なる脂質分子がどのように膜特性に関連するのかを知るためにも、X線や中性子を用

いた原子、分子あるいは分子集合体スケールで見られる動的構造の理解が今後ますます興味深い研究対象になると考えられる。

謝辞

本研究は Elizabeth G. Kelley 博士、Antonio Faraone 博士、齋藤真器名准教授、依田芳卓主幹研究員、黒葛真行博士、高田慎一博士、瀬戸誠教授、Paul D. Butler 博士との共同研究です。この場を借りてご協力に感謝します。放射光実験は高輝度光科学研究センターによって採択された実験課題番号 2017B1512 及び 2018B1491 について SPring-8 の BL09XU を用いて行われた。Access to the NGA-NSE instrument was provided by the Center for High Resolution Neutron Scattering, a partnership between the National Institute of Standards and Technology and the National Science Foundation under Agreement No. DMR-2010792.

参考文献

- [1] T. Harayama and H. Riezman: *Nat. Rev. Mol. Cell Biol.* **19** (2018) 281-296.
- [2] <http://www.lipidmaps.org/>
- [3] G. van Meer, D. R. Voelker and G. W. Feigenson: *Nat. Rev. Mol. Cell Biol.* **9** (2008) 112-124.
- [4] R. Dimova, C. Dietrich, A. Hadjisky, K. Danov and B. Pouligny: *Euro. Phys. J. B* **12** (1999) 589-598.
- [5] A. R. Honerkamp-Smith, F. G. Woodhouse, V. Kantsler and R. E. Goldstein: *Phys. Rev. Lett.* **111** (2013) 038103.
- [6] T. T. Hormel, S. Q. Kurihara, M. K. Brennan, M. C. Wozniak and R. Parthasarathy: *Phys. Rev. Lett.* **112** (2014) 188101.
- [7] Y. Sakuma, T. Kawakatsu, T. Taniguchi and M. Imai: *Biophys. J.* **118** (2020) 1576-1587.
- [8] H. A. Faizi, R. Dimova and P. M. Vlahovska: *Biophys. J.* **121** (2022) 910-918.
- [9] M. Nagao, E. G. Kelley, R. Ashkar, R. Bradbury and P. D. Butler: *J. Phys. Chem. Lett.* **8** (2017) 4679-4684.
- [10] E. G. Kelley, P. D. Butler and M. Nagao: in *Characterization of Biological Membranes – Structure and Dynamics*, Ed. J. Katsaras, M. P. Nieh, F. A. Heberle, de Gruyter, Chap. **4** (2019) 131.
- [11] S. A. Shkulipa, W. K. den Otter and W. J. Briels: *Biophys. J.* **89** (2005) 823-829.
- [12] A. Zgorski, R. W. Pastor and E. Lyman: *J. Chem. Theory Comput.* **15** (2019) 6471-6481.
- [13] M. Nagao *et al.*: *Phys. Rev. Lett.* **127** (2021) 078102.
- [14] F. Mezei, W. Knaak and B. Farago: *Phys. Rev. Lett.* **58** (1987) 571-574.
- [15] J. Wuttke, W. Petry and S. Pouget: *J. Chem. Phys.* **105** (1996) 5177-5182.
- [16] M. S. Green: *J. Chem. Phys.* **22** (1954) 398-413.
- [17] R. Kubo: *J. Phys. Soc. Jpn.* **12** (1957) 570-586.
- [18] T. Yamaguchi: *J. Chem. Phys.* **146** (2017) 094511.
- [19] M. Saito, R. Masuda, Y. Yoda and M. Seto: *Sci. Rep.* **7** (2017) 12558.
- [20] 齋藤真器名、山口毅、長尾道弘: 物理学会誌, in press.
- [21] F. Mezei: *Z. Phys.* **255** (1972) 146-160.
- [22] 長尾道弘: 波紋 **19** (2009) 42-48.
- [23] M. C. Rheinstädter *et al.*: *Phys. Rev. Lett.* **101** (2008) 248106.
- [24] A. Filippov, G. Orädd and G. Lindblom: *Biophys. J.* **84** (2003) 3079-3086.
- [25] E. Evans and E. Sackmann: *J. Fluid Mech.* **194** (1988) 553-561.
- [26] E. G. Kelley, P. D. Butler, R. Ashkar, R. Bradbury and M. Nagao: *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **117** (2020) 23365-23373.
- [27] A. C. Woodka, P. D. Butler, L. Porcar, B. Farago and M. Nagao: *Phys. Rev. Lett.* **109** (2012) 058102.
- [28] R. Merkel, E. Sackmann and E. Evans: *J. Phys. France* **50** (1989) 1535-1555.
- [29] Y. Wu *et al.*: *Phys. Chem. Chem. Phys.* **15** (2013) 14986-14993.
- [30] W. K. den Otter and S. A. Shkulipa: *Biophys. J.* **93** (2007) 423-433.

長尾 道弘 *NAGAO Michihiro*

Department of Materials Science and Engineering,
University of Maryland
College Park, MD 20742-2115, USA
TEL : +1-301-975-5505
e-mail : mnagao@umd.edu

長期利用課題報告 1

ゲノム編集ツール CRISPR-Cas ヌクレアーゼの構造解析

東京大学大学院 理学系研究科
 濡木 理

Abstract

原核生物のもつ CRISPR-Cas 機構に由来する様々な Cas タンパク質は、ガイド RNA と相補的な核酸を特異的に切断する。この性質を利用したものとして Cas9 の 2 本鎖 DNA 切断によるゲノム編集が挙げられるが、近年では Cas13 によるコロナウイルスの高感度・高速検出技術が開発されるなど^[1]、その応用範囲を拡大している。本長期課題では応用的に重要視されている CRISPR-Cas 酵素の結晶構造を決定し、その RNA 依存性核酸切断機構を明らかにすることに成功した。

1. CRISPR-Cas 機構

CRISPR (clustered regularly interspaced short palindromic repeat) -Cas (CRISPR associated) 機構は原核生物のもつ獲得免疫機構であり、ファージやプラスミドなどに由来する外来核酸に対する防御を行う^[2]。CRISPR-Cas 機構は Cas タンパク質と crRNA (CRISPR RNA) から構成される。Cas タンパク質は crRNA と複合体を形成し、crRNA のガイド配列と相補的な外来核酸を認識し、切断する。CRISPR-Cas 機構は哺乳類細胞内でも機能することから、任意の配列の核酸を標的可能なゲノム編集ツールとして注目されている。CRISPR-Cas 機構はそれを構成する遺伝子の種類などによりさまざまなタイプに分類されるが、その中でも特に単一のタンパク質が標的核酸の切断を担うことから、クラス 2 に分類される II 型、V 型、VI 型の CRISPR-Cas 機構がゲノム編集ツールとして利用されている^[3,4]。

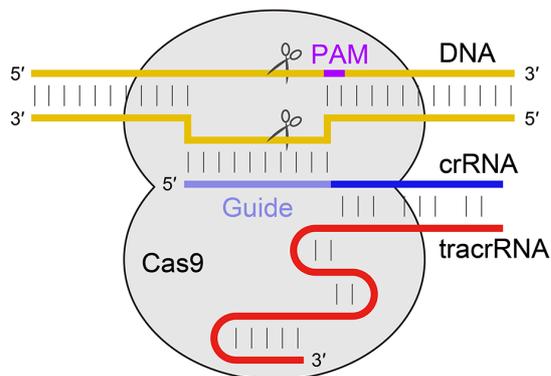


図1 Cas9 による標的 DNA 切断機構

ゲノム編集に広く利用されているのは II 型の CRISPR-Cas 機構で機能する、Cas9 とよばれている Cas タンパク質である。Cas9 は crRNA に加えて tracrRNA とよばれる RNA と複合体を形成し、crRNA のガイド配列と相補的な 2 本鎖 DNA を切断する^[5,6] (図 1)。crRNA と tracrRNA を人工的に接続した sgRNA も同様の機能をもつことが知られている。Cas9 による DNA の認識にはガイド配列と標的 DNA の相補性に加え、その近傍に PAM (protospacer adjacent motif) とよばれる特定の配列が必要である。また、Cas9 は分子系統的に II-A 型、II-B 型、II-C 型に分類され、さらにその中においても配列相動性が低く、由来する生物種によって複合体を形成する RNA の配列、認識する PAM 配列、分子サイズなどが多様であることが知られている^[7]。本研究グループはこれまでに様々な生物種に由来する Cas9 の結晶構造解析を行うことにより、その基礎的な分子メカニズムを解明してきた。まず、ゲノム編集ツールとして最もよく利用されている II-A 型の *Streptococcus pyogenes* 由来 Cas9 (SpCas9) に着目し、SpCas9-sgRNA-DNA 複合体の結晶構造を世界にさきがけて決定した^[8]。次いで、II-A 型の *Staphylococcus aureus* 由来 Cas9 (SaCas9)、II-B 型の *Francisella novicida* 由来 Cas9 (FnCas9)、II-C 型の *Campylobacter jejuni* 由来 Cas9 (CjCas9) の sgRNA および DNA との複合体の結晶構造解析に成功した^[9-11]。これら一連の構造解析により、Cas9 による RNA 依存性 DNA 切断機構のみな

らず、多様な PAM 認識機構および RNA 認識機構などを明らかにしてきた。

本長期課題では、新規ゲノム編集ツールとして期待されている Cas タンパク質に焦点を当てて研究を推進した。CRISPR-Cas 機構を利用したゲノム編集の問題点として、PAM 配列の必要性による標的可能な配列の制限と、分子サイズが大きいことによる細胞内への導入効率の低さが挙げられる。例として、ゲノム編集に広く利用されている SpCas9 は 5'-NGG-3' (N は任意の塩基) という配列のみを認識し、1368 アミノ酸からなる比較的大きいタンパク質である。本研究ではそれらの課題を部分的に解決するものとして期待されている SpCas9 改変体 (SpCas9-NG)、*Brevibacillus laterosporus* 由来 Cas9 (BICas9) および *Corynebacterium diphtheriae* 由来 Cas9 (CdCas9)、加えて、Cas9 と異なり配列依存的に 1 本鎖 RNA と結合する VI 型の Cas タンパク質である Cas13b の結晶構造解析を行った。

2. SpCas9-NG の結晶構造解析

SpCas9 の結晶構造から 5'-NGG-3' の 2 塩基目および 3 塩基目の G はそれぞれ Arg1333 および Arg1335 により認識され、PAM を含む 2 本鎖 DNA は PI (PAM-interacting) ドメインによって形成される正電荷を帯びた溝に結合することが明らかにされていた^[12]。そこで、我々はこの Arg1335 を変異させ G 塩基との塩基特異的な相互作用を無くすと同時に、2 本鎖 DNA の糖-リン酸骨格へ相互作用する変異を PI ドメインに導入することにより、5'-NG-3' を PAM として認識する SpCas9 が得られると考えた。この仮説に基づき様々な変異体を設計し、DNA 切断活性を測定したところ、

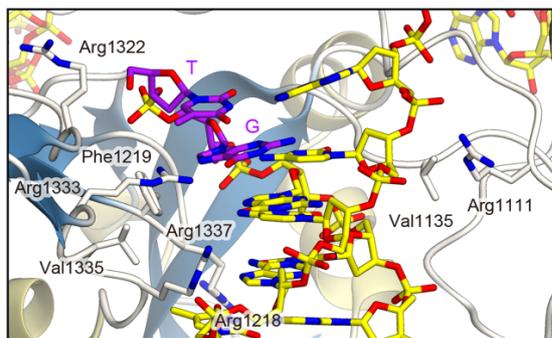


図2 SpCas9-NG による PAM を含む 2 本鎖 DNA 認識機構

Arg1335Val 置換、Leu1111Arg 置換、Asp1135Val 置換、Gly1218Arg 置換、Glu1219Phe 置換、Ala1322Arg 置換、Thr1337Arg 置換の 7 つの変異をもつ SpCas9 は効率よく 5'-TGN-3' PAM をもつ DNA を切断することが明らかとなった^[13]。さらに、この 7 つの変異をもつ SpCas9 を用いて、65,536 (4 の 8 乗) 通りの配列をもつ DNA ライブラリーを *in vitro* において切断し次世代シーケンサーを用いて解析した結果、僅かな嗜好性があるものの 5'-NG-3' PAM を認識することが確かめられ、これを SpCas9-NG と命名した。SpCas9-NG による PAM の認識機構を解明するために、SpCas9-NG、sgRNA および標的 DNA からなる複合体を結晶化し、BL41XU において X 線回折データを収集し、SpCas9-sgRNA-標的 DNA 複合体の結晶構造をサーチモデルとした分子置換法により結晶構造を決定した。結晶構造から、予想通り Arg1335Val の置換により PAM の 3 番目の G 塩基との塩基特異的な相互作用は失われ、Val1135 および Phe1219 は糖骨格と疎水性相互作用を、Arg1111 はリン酸骨格と静電相互作用をしていることが明らかになった (図 2)。その一方で Arg1218 と Arg1337 は予想とは異なり、Arg1218 は周辺のアミノ酸の主鎖と水素結合を形成していた一方で、Arg1337 は結晶化に用いた DNA の塩基に特異的な水素結合を形成していた。このことから、Arg1218 は PI ドメインの構造安定化に寄与し、Arg1337 は SpCas9-NG の PAM 配列の嗜好性に関与していることが示唆された。

3. 小型 Cas9 の結晶構造解析

B.lacterosporus 由来 Cas9 (BICas9) および *C.diphtheriae* 由来 Cas9 は II-C 型に属する Cas9 で小型 (約 1000 アミノ酸残基) である^[14,15]。BICas9 は 5'-NNNNC-3' と C 塩基 1 文字を認識するのに対し、CdCas9 は 5'-NNRHHHY-3' (R=A/G, H=A/C/T, Y=C/T) と緩い特異性で長い PAM を認識する。これらの Cas9 による RNA 依存性 DNA 切断機構を解明するために、BICas9 および CdCas9 の sgRNA および標的 DNA を含む複合体をそれぞれ結晶化し、BL41XU において X 線回折データを収集し、SeMet 置換体を用いた SAD 法により結晶構造を決定した^[16] (図 3)。BICas9 および CdCas9 は既存の小型の Cas9

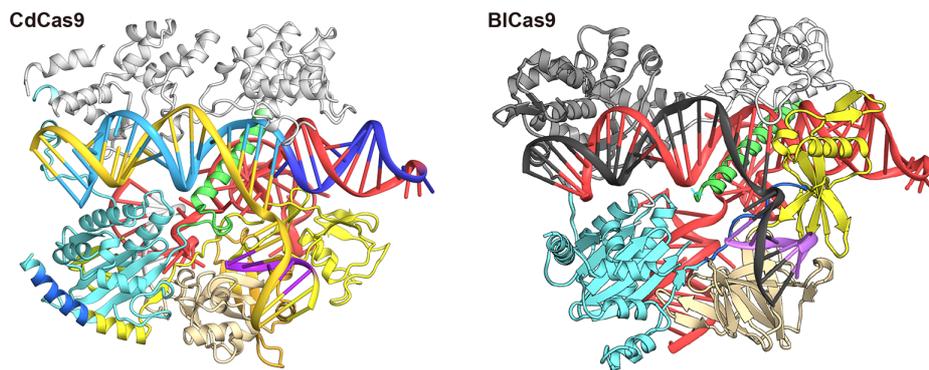


図3 CdCas9 および BICas9 の全体構造

と全体構造は類似していたものの、異なる配列をもつ RNA を特異的に認識し複合体を形成していることが明らかになった。また、構造から各々の特異的な PAM 認識機構が明らかとなった。BICas9 は Asp1023 と Lys1041 がそれぞれ C 塩基と G 塩基と水素結合を形成することにより強固に G:C 塩基対を認識しており、これにより 1 塩基のみの PAM 認識を可能にしていることが示唆された。一方で、CdCas9 の PI ドメインには Phe1011、Lys1015、Pro1043、Leu1046 などから形成される疎水性パッチが存在し、これが PAM を含む 2 本鎖 DNA の主溝に接近していた。この疎水性パッチによるファンデルワールス相互作用によって、緩い特異性の PAM 認識が可能になっていることが示唆された。さらに、SpCas9-NG と同様の戦略により BICas9 の結晶構造を基にして PI ドメインに変異を入れ、異なる塩基配列を PAM として認識する改変型 BICas9 の開発に成功した。

4. Cas13bt の結晶構造

近年、ゲノムデータベースの拡大によって様々な新規 Cas タンパク質が発見されており、中でも Cas13b (Cas13bt3) (775 残基) は小型で crRNA 依存的に 1 本鎖 RNA を切断する機能があることで注目されていた¹⁷⁾。本研究では、Cas13b と crRNA からなる複合体を結晶化し、BL41XU において X 線回折データを測定し、SeMet 置換体を用いた SAD 法により 1.9 Å 分解能で結晶構造を決定した (図 4)。得られた構造から、Cas13bt3 は REC (recognition) ロープと NUC (nuclease) ロープからなり、crRNA が REC ロープにアンカーされていることが明らかとなった。

REC ロープは Helical-1 ドメイン、Lid ドメイン、Helical-2 ドメインから構成され、NUC ロープは HEPN1 ドメイン、および HEPN2 ドメインから構成されていた。crRNA はガイド領域、2つのステム領域 (Stem1、Stem2)、および2つのループ領域 (internal loop, hairpin loop) から構成されており、Cas13bt3 の REC ロープによって認識されていた。特に、crRNA からフリップした 3つの塩基、C (-8)、G (-28)、A(-32)は Helical-1 ドメイン、Lid ドメイン、Helical-2 ドメインによって塩基特異的に認識されていた。Cas13bt3 はすでに構造が報告されている PbuCas13b と比較して 350 塩基小さく、HEPN1 ドメインを除いて配列相同性をもたないにも関わらず、全体構造は PbuCas13b と類似していた (RMSD:4.31 Å)。ドメインごとの比較から、Cas13bt3 はすべてのドメインが PbuCas13b よりもそれぞれ 30-100 塩基ほど小さくなっていった。したがって、これらの違いが Cas13bt3 の小型化に貢献していることが明らかとな

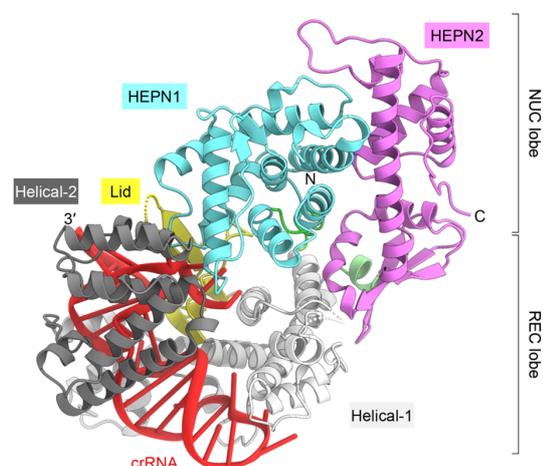


図4 Cas13bt3 の全体構造

った。今回の結果は、CRISPR-Cas システムにおける共通性および多様性を明らかにするとともに、新たな革新的技術の開発基盤となることが期待される。本研究成果は *Molecular Cell* 誌に掲載予定である。

参考文献

- [1] H. Shinoda *et al.*: *Commun. Biol.* **4** (2021) 476.
- [2] R. Barrangou *et al.*: *Science* **315** (2007) 1709-1712.
- [3] K. S. Makarova *et al.*: *Nat. Rev. Microbiol.* **13** (2015) 722-736.
- [4] H. Nishimasu and O. Nureki: *Curr. Opin. Struct. Biol.* **43** (2017) 68-78.
- [5] G. Gasiunas, R. Barrangou, P. Horvath and V. Siksnys: *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **109** (2012) E2579-2586.
- [6] M. Jinek *et al.*: *Science* **337** (2012) 816-821.
- [7] K. Chylinski *et al.*: *Nucleic Acids Res.* **42** (10) (2014) 6091-105.
- [8] H. Nishimasu *et al.*: *Cell* **156** (2014) 935-949.
- [9] H. Nishimasu *et al.*: *Cell* **162** (2015) 1113-1126.
- [10] H. Hirano *et al.*: *Cell* **164** (2016) 950-961.
- [11] M. Yamada *et al.*: *Mol. Cell* **65** (2017) 1109-1121.
- [12] M. Jinek *et al.*: *Nature* **513** (2014) 569-573.
- [13] H. Nishimasu *et al.*: *Science* **361** (2018) 1259-1262.
- [14] T. Karvelis *et al.*: *Genome Biol.* **16** (2015) 253.
- [15] F. A. Ran *et al.*: *Nature* **520** (2015) 186-191.
- [16] S. Hirano *et al.*: *Nature Commun* **10** (2019) 1968.
- [17] S. Kannan *et al.*: *Nat Biotechnol* **40** (2) (2021) 194-197.

瀧木 理 NUREKI Osamu

東京大学大学院 理学系研究科
〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1
TEL : 03-5841-4391
e-mail : nureki@bs.s.u-tokyo.ac.jp

長期利用課題報告 2

はやぶさ 2 サンプルの X 線 CT を用いた初期分析： 技術開発、分析手法評価と分析

立命館大学 総合科学技術研究機構

土山 明、松野 淳也

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

上相 真之、上杉 健太郎

東北大学 高度教養教育・学生支援機構

松本 恵

Abstract

本課題では、非破壊分析である複数の X 線 CT 手法を、サンプルサイズを考慮して効率的に用いることにより、はやぶさ 2 サンプル粒子の初期分析とそれに先立つ準備を行い、当初想定した成果をあげることができた。これにより、小惑星リュウグウの物質は、観測から予想されていた炭素質コンドライトの中でも CI グループあるいはその類似物質であることが明らかとなった。また、水（正確には $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 流体）が小惑星に存在することを初めて示すとともに、リュウグウ母天体の形成領域（太陽系外側の低温領域）を特定し、このような流体による水質変成プロセスの具体的なモデルを作業仮説として提唱した。さらに、最も重要な物理量のひとつである密度を、X 線 CT を用いて正確に求めることができた。本分析は、破壊分析に先駆けて実施され、その後の様々な分析が効率的に行われた。

1. はじめに

「はやぶさ 2」計画は、「はやぶさ」計画に次ぐ JAXA の小惑星探査計画で、探査機は 2018 年 6 月に C 型小惑星リュウグウに到着、リモートセンシング観測とサンプル採取を行ったのち、2020 年 12 月に C 型小惑星リュウグウのサンプルを地球に持ち帰った^[1]。採取されたサンプルは多数の黒っぽい粒子（最大サイズ

1 cm 弱）からなり（図 1）、その総量は 5.4 g であった。

小惑星は表面反射スペクトル（構成物質を反映する）から、いくつかのタイプに分類されているが、C 型小惑星は水や有機物を含む炭素質コンドライトあるいはそれに類似する物質からなると考えられてきた^[2]。このような鉱物、水、有機物はそれぞれ固体地球、海洋、生命の原材料とみなすことができ、はやぶさ 2 サンプルの分析により太陽系の起源と進化、生命の原材料物質の解明が期待される。

本長期利用課題では、このはやぶさ 2 サンプルの初期分析として、SPring-8 の放射光を用いた種々の X 線 CT 手法を組み合わせた統合的な非破壊 3 次元分析を行い、サンプルと既知の隕石（炭素質コンドライト）との関係を明らかにするとともに、リュウグウの成因と進化、さらに小惑星表面の進化プロセスの理解を最終的に目指した。

はやぶさ 2 サンプルは数 10 μm ～10 mm の粒子

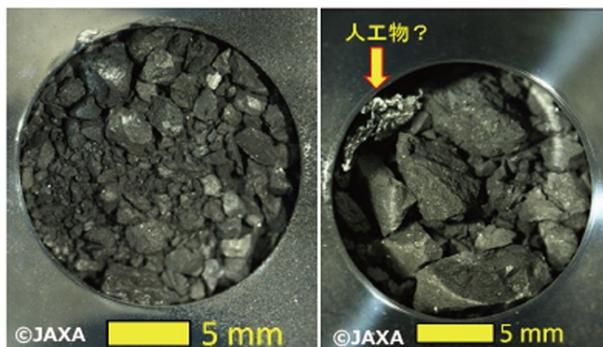


図 1 はやぶさ 2 探査機が採取した小惑星リュウグウの粒子（左右はそれぞれ 1 回目、2 回目に採取されたもの）

で、これらの粒子はサブミクロンから 100 μm あるいはそれ以上の粗粒な構成物からなることが予想された。このような多様なサンプルに対応した分析プロトコルを準備し、その特徴に合わせた効率的な分析を行うために、粒子サイズが数 100 μm より大きな粒子の分析は BL20XU において統合 CT (マルチモード/マルチスケール CT) による分析を、数 100 μm より小さな粒子の分析は BL47XU において、分析ナノ CT (DET-SIXM 法³⁾) による分析を行うようにした。また、本番分析のための準備が重要であるとの認識のもと、2019A~2020A においては、技術開発 (大気遮断分析、迅速なデータ解析など)、模擬サンプル (炭素質コンドライト) を用いたりハーサル (隕石ライブラリの作成)、他のさまざまな分析手法との連携 (非破壊分析、破壊分析) を行った。COVID-19 パンデミックの影響により、利用期間が 2021A まで延長され、サンプル配分後の 2021A においてこれらの手法を適用したはやぶさ 2 サンプル分析を行った。

2. 初期分析のための技術開発と分析手法評価

2-1. 大きな粒子の分析 (BL20XU における統合 CT)

大きな粒子の分析では、大きな視野サイズをもつ CT でその物質科学的特徴 (微細組織、構成鉱物) を取得することが重要である。BL20XU において 30 keV の X 線を用いた統合 CT システムが整備されていたが、これを改良することにより、吸収 CT (吸収像に

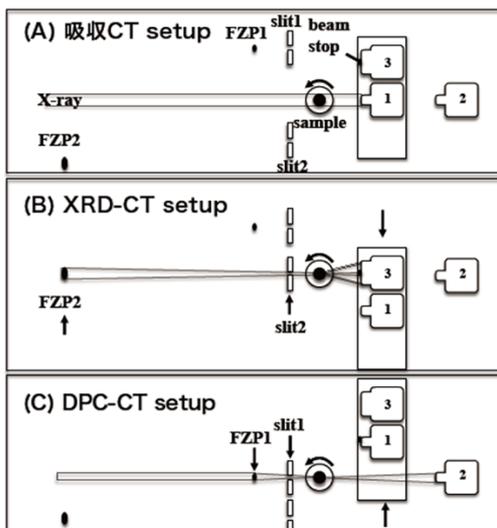


図 2 統合 CT の概念図。共通のサンプルステージと 3 つのモード分析系を持っている (BL20XU 第 2 ハッチに設置)。

よる高精細 3D 組織観察)、XRD-CT (X 線回折 (XRD) による鉱物相マップ)、DPC-CT (微分位相コントラスト (DPC) による軽元素相の可視化) の 3 つのモード分析を行えるようにした (図 2)。これは多様な試料に対応可能で、単なる組織観察だけではなく、構成物質を特定することも可能となった。

吸収 CT では、4K カメラを用いた広視野 CT 環境の再整備を行い、広視野 (mm スケール)・高分解能 (サブ μm の画素サイズ) の 3D データが取得可能となった (図 3)。これにより、広視野とサブ μm 画素サイズでの局所マイクロ CT を別々に行う必要がなくなり、データ取得時間の短縮だけでなく、データの質そのものが向上した。また、複数の手法で得られた情報を統合・可視化するための多数の画像処理ソフトウェアを開発し、試料中の分析領域の可視化を実現した。とくに、XRD-CT において、鉱物相の同定、得られた鉱物マップと CT 画像との合成が可能になり、特定の鉱物の組み合わせをもっている箇所を特定し (図 4)、その位置を簡便に調べることが可能になった。さらに、統合 CT 環境における DPC-CT の整備を行い、全てのセットアップ切り替えを 1 ボタンでできるように自動化した (図 5)。さらに、第 1 ハッチの高エネルギーナノ CT 装置においても XRD のセットアップを

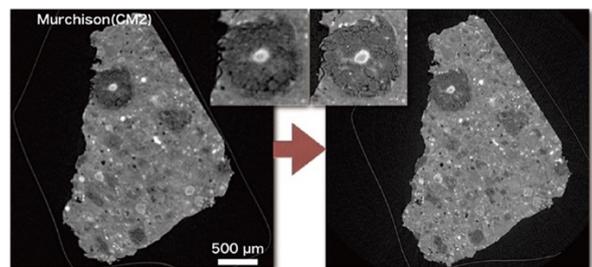


図 3 (左) 旧来の 2K カメラ (3.14 μm /画素) と (右) 新たに導入した 4K カメラ (0.84 μm /画素) での CT 像 (試料: Murchison 隕石)

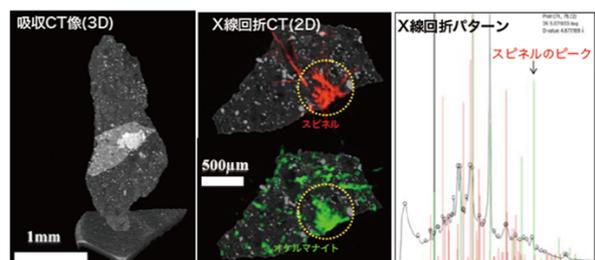


図 4 X 線回折パターンから抽出した XRD-CT イメージと吸収 X 線 CT 像への重ね合わせ。(試料: Murchison 隕石)

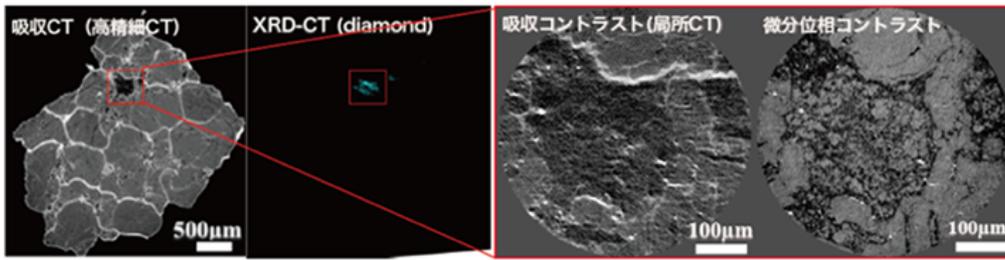


図5 ユレーライト隕石中のダイヤモンド。吸収コントラストでは見えないものが、微分位相コントラストでは炭素物質中に無数の包有物が見える。(試料：Kenna 隕石)

組み込んだ。これにより、2 mm 以下程度の試料に対しては、ナノ CT と統合 CT 環境を組みあわせることが可能となった。

また、共通試料ホルダを用いた標準物質（鈦物、隕石など）を準備し、これらを直前に測定することで、X線吸収係数、X線回折などの較正を高精度で簡便に行うことができるようになった。

改良した統合 CT 環境を用いて 20 種類以上の炭素質コンドライト隕石を測定し、ライブラリを作成した。これらのデータを検索して比較することで、「はやぶさ2」帰還サンプルの分析をより効率よく行うことができるようになった。

本手法は、非破壊分析という特性のため、多くの破壊分析に先駆けて実施される。また、はやぶさ2サンプルは大気中の酸素や水蒸気との反応が予想されるため、計測中に大気中の汚染物を遮断するための大気遮断ホルダを開発した。それらを既設の大気遮断試料準備環境中で組み上げ（図6）、汚染評価や性能評価を行った^[4]。その結果、安全かつ清浄な環境で試料を封止することが可能となった。この大気遮断システムは、燃料電池などの嫌気試料の分析にも応用可能である。



図6 大気遮断ホルダと大気遮断試料準備環境（高純度グローブボックス）。

はやぶさ2サンプルには水、有機物が存在していることが予想された。これらの分布、形態、分子構造、同位体組成を調べるために、複数の分析手法（FE-SEM、XRF、中性子 CT、FIB、TEM、STXM-NEXAFS、NanoSIMS など）と連携するためのデータ解析手法、共通試料ホルダの整備を行った^[5]。これにより、BL20XU の実験を最上流として、そのデータを元に、下流分析領域の可視化・共有、試料の効率的な加工・再配分・高精度破壊分析、データ統合・マルチスケール化などを行い、多角的な分析を実現することが可能となった。

2-2. 小さな粒子の分析（BL47XUにおける分析ナノCT）

小さな粒子の分析では、ナノスケールの分解能をもつ3次元CT像の取得が可能である。BL47XUには7~15 keVで高空間分解能（画素サイズ：40~100 nm）を有するナノCT（図7）および走査-結像型X線CT（SIXM）^[6]（図8）が整備されている。ナノCTでは、FeのK吸収端（7.11 keV）を挟む2つのエネルギー

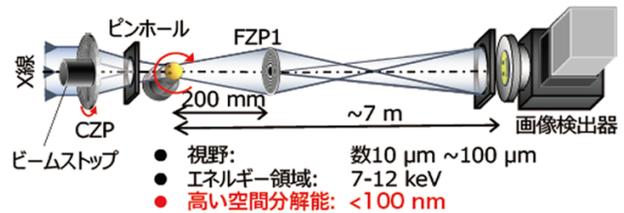


図7 結像型吸収CT法^[7]の模式図。

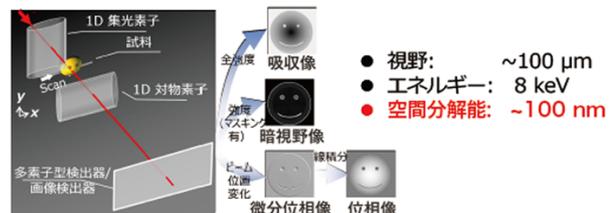


図8 走査-結像X線CT法^[4]の模式図。

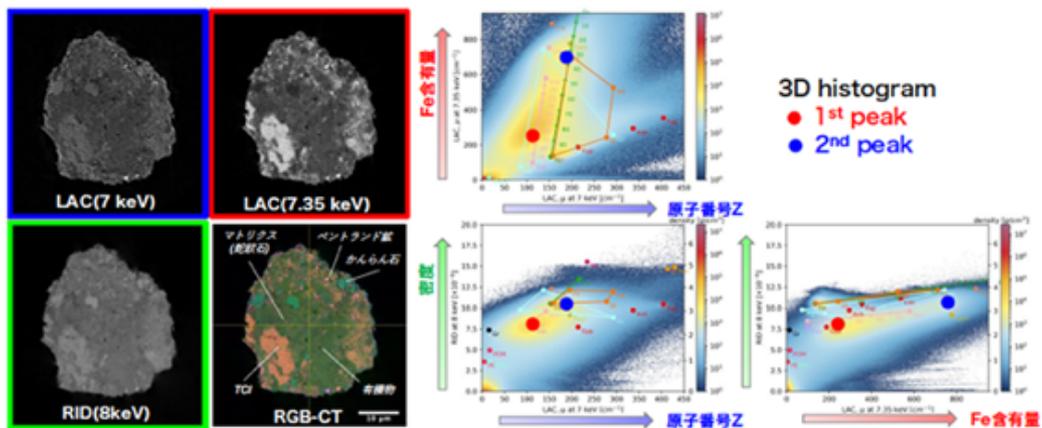


図9 DET-SIXM 法^[3]。(左) LAC (7keV) は7 keV での吸収像 (原子番号 Z にほぼ対応するコントラスト)、LAC (7.35 keV) は7.35 keV での吸収像 (Fe 濃度にほぼ対応するコントラスト)、RID (8 keV) は位相 CT 像 (密度に対応するコントラスト) で、これらにそれぞれ B、R、G の色を当てはめて合成することにより、RGB-CT 像が得られる。RGB-CT 像において様々な鉱物や有機物は異なる色で表される。(右) 7, 7.35 keV 吸収像における線吸収係数 (LAC) および 8 keV 位相像における RID の 3 次元ヒストグラムを、様々な鉱物のもつ 7, 7.35 keV LAC 値、8 keV RID 値と比較することにより、定量的に鉱物の同定を行うことができる。(試料: Murchison 隕石)

(7, 7.35 keV) での吸収コントラスト CT の撮影により、多くの鉱物相の同定が可能である (DET: Dual-Energy Tomography) ^[7]。一方、SIXM で取得される位相 CT 像は密度コントラストに対応するため、吸収 CT では困難な軽元素物質 (水や有機物) の識別が可能で、DET 法と SIXM を組み合わせることにより、様々な鉱物や有機物 (や水) が識別できる (DET-SIXM 法) ^[3] (図9)。即ち、小さな粒子では、~100 nm スケールの高分解能で、様々な鉱物相や水・有機物の 3 次元分布を得ることが可能である。この分析型ナノ CT ともいえる手法は 7~8 keV という低 X 線エネルギーでのみ可能であり、X 線が透過できない大きな粒子に用いることはできない。

本課題では、この DET-SIXM 法を改良するとともに、撮影条件 (フォーカシング、撮影時間、プロジェクション数など) の最適化や、標準物質を用いた吸収像コントラストを与える線吸収係数 (LAC: linear attenuation coefficient) および位相像コントラストを与える屈折率減分 (RID: refraction index decrement, RID = 1-屈折率) の較正法を確立し、定量性の高い鉱物相同定手法を確立した。また、ImageJ、python およびコマンドライン上で実行する自作のソフトウェア (<http://www-bl20.spring8.or.jp/slice/>)

を用いて、取得 CT 像のレジストレーション・3D ヒストグラムによる鉱物相同定・特定相 3 次元分布の可視化・粒子 3 次元外形の抽出などの手法を確立し、粒子の体積、表面積、3 軸長、空隙率や密度などのサンプルの様々な物理的特徴や鉱物のモード組成 (含有率) が求められるようになった。さらに、LAC 値-RID 値の 3 次元ヒストグラムにおけるピーク位置 (図9 右の赤や青の点) を求めることにより、ナノ CT の空間分解能以下の微細鉱物の集合体である炭素質コンドライトのマトリクスの性質 (密度、Fe/Mg 比など) を求める手法を開発した。

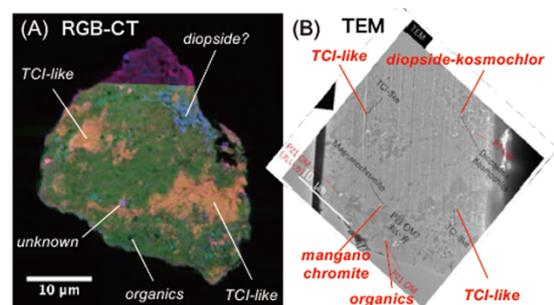


図10 DET-SIXM 測定を行った試料の TEM 分析。(A) TEM 像に対応する RGB-CT 像。(B) TEM 像により、RGB-CT 像では未同定であった鉱物が同定され、また有機物の存在が確認された (試料: Murchison 隕石)

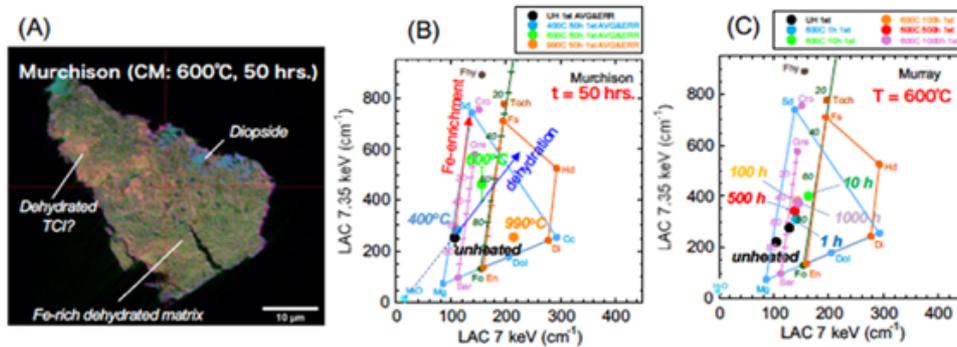


図 11 加熱した CM 炭素質コンドライト (Murchison 隕石) 粒子の DET-SIXM 解析。(A) RGB-CT 像の一例。7, 7.35 keV LAC 値のヒストグラムにおける、(B) 加熱温度および (C) 加熱時間によるマトリクスの変化。

以上のように、RGB-CT 像および 3D ヒストグラムの解析により、重要な情報を有する特定の鉱物や有機物の識別とその 3 次元位置情報が得られ、その情報をもとに、集束イオンビーム (FIB) 法で TEM 試料を製作して、詳細な TEM 分析^{3,8-10)} (図 10) やその他の破壊詳細分析 (SIMS, STXM など) が効率よく行えるようになった (例えば、鉱物中の液体包有物の探査⁸⁾)。また、パリ・サクレ大学における赤外線-CT とのコラボレーション (とくに有機物に関して) も行った¹¹⁾。

一方、CT-FIB 共通のサンプルホルダ開発とサンプル保持法の改良を行い、微小サンプルの安全なハンドリング・最小限の汚染・CT 撮影の最適化・CT 分析後の FIB 法による破壊分析用サンプル加工の最適化を行った。

また、DET-SIXM 法では X 線が十分に透過しない大きなサンプル (>100 μm) のための高エネルギー (10 ~ 15 keV) を用いた広視野吸収 CT 撮影装置と超高空

間分解能 (~10 nm) 局所吸収 CT 撮影が可能な光学系をもつ装置の整備を行い、これらが共通の試料ステージを用いて撮影できるようにした。

以上の手法を用いて、はやぶさ 2 サンプル模擬物質である異なる化学的グループに属する炭素質コンドライト (CM, CI, C-ungrouped) のリハーサル分析を行った。これにより隕石の化学的グループ間での差異を明らかにし、はやぶさ 2 サンプルと炭素質コンドライトとの非破壊 CT 分析による比較が可能となった。また、隕石の加熱物の測定を行い、はやぶさ 2 サンプルで予想される加熱変成の影響を評価した (図 11)。

さらに、この手法を始原的な炭素質コンドライト隕石に適用し、始原的な炭素質コンドライト (Acfer094 隕石) 中に氷の化石としての超多孔質岩相を発見³⁾、CM 炭素質コンドライト (Sutter's Mill 隕石) 中に初めて CO₂ に富む液体の水を発見する (図 12) ことにより、この隕石の母天体が木星の外側で形成されたというダイナミックな太陽系形成理論の証拠を得⁸⁾、南極で新しく発見された最も水質変成度の小さい始原的な CM 炭素質コンドライト (Asuka12169 隕石) のマトリクスや 3 次元的特徴を明らかにし⁹⁾、また Acfer094 隕石中の宇宙シンプレクタイトと呼ばれる酸素同位体的に太陽系で最も始原的な物質の 3 次元構造から、その成因を解明した¹⁰⁾。

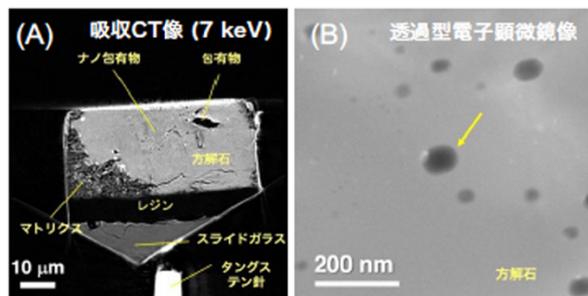


図 12 CM 炭素質コンドライト (Sutter's Mill 隕石) 中の CO₂ に富む液体包有物。(A) ナノ CT 測定により方解石 (CaCO₃) 結晶中に見出されたナノ包有物。(B) ナノ包有物の TEM 像。極低温での電子線回折を行うことにより、矢印の包有物に CO₂ に富む液体を発見した。

3. はやぶさ 2 サンプル分析とその成果

3-1. 大きな粒子の分析 (BL20XU における統合 CT)

2021A では、24 粒子 (長径サイズ: 1.8~8.4 mm) が配分された。全粒子について 30 keV で吸収 CT 撮影 (0.84 μm/画素) を行い、その中の 4 粒子の XRD-

CT、2 粒子の DPC-CT を行った^[5,12]。全ての測定は図 6 に示した大気遮断ホルダを用いて行った。

サンプル中の最大粒子 (C0002 粒子) は、重量は 94.1 mg、3 軸長は 8.4 mm × 4.3 mm × 3.2 mm である。この粒子の光学顕微鏡写真と吸収 CT 像の一例を図 13 に示す (この粒子は 3D プリンターを用いて拡大したレプリカが作られ、多くの博物館や自然科学館での展示が行われている)。吸収 CT 像では、様々なサイズの鉱物粒子 (pyrrhotite、magnetite、dolomite、breunnerite、apatite など) が、細粒物質からなるマトリクス中に存在している。マトリクスは主として含水層状ケイ酸塩鉱物である serpentine と saponite からなるが、輝度の異なる、すなわち化学組成や密度の異なる不均質な領域が多数存在し、クラッ

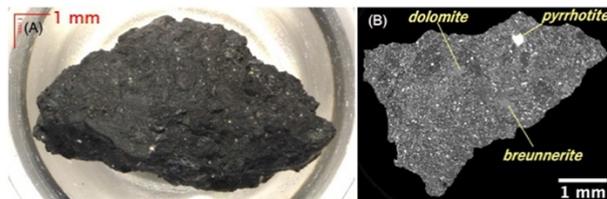


図 13 最大粒子 C0002。(A) 光学顕微鏡像。(B) 吸収 CT 像。不均質なマトリクス中に、様々な鉱物粒子が存在している。小さな明るい粒子は pyrrhotite や magnetite。

表 1 XRD-CT、DET-SIXM によりリュウグウ粒子に認められた鉱物

鉱物名	化学式	結晶系
硫化鉱物		
磁硫鉄鉱	pyrrhotite $Fe_{1-x}S$	単斜
ペントランド鉱	pentlandite $(Fe,Ni)_9S_8$	立方
酸化鉱物		
磁鉄鉱	magnetite Fe_3O_4	立方
炭酸塩鉱物		
方解石	calcite $CaCO_3$	三方
ドロマイト	dolomite $CaMg(CO_3)_2$	三方
ブリュネライト	breunnerite $(Mg,Fe)CO_3$	三方
リン酸塩鉱物		
燐灰石	apatite $Ca_5(PO_4)_3(F,Cl,OH)$	六方
Na,Mgリン酸塩	化学式未詳	
ケイ酸塩鉱物		
カンラン石	olivine Mg_2SiO_4	斜方
低Ca輝石	low-Ca pyroxene $MgSiO_3$	斜方
含水ケイ酸塩鉱物		
蛇紋石	serpentine $(Mg,Fe)_3Si_2O_5(OH)_4$	単斜/三斜
サポナイト	saponite $(Ca/2,Na)_3(Mg,Fe)_3((Si,Al)_2O_{10})(OH)_2 \cdot n(H_2O)$	単斜

クが発達している^[12]。このような鉱物相は XRD-CT で同定されている (表 1)。同様の鉱物の組み合わせと組織は、他の全ての粒子にも見られ、今回見出された特徴は小惑星リュウグウのサンプルが炭素質コンドライトの中でも CI と呼ばれるグループあるいはその類似物質であることを示している。また、含水層状ケイ酸塩の存在は、水が結晶中の水酸基や水分子として小惑星に存在することを初めて示したものである。これらの成果は、他の多くの分析手法によっても確認されている^[5,12-16]。

物質の密度は最も重要な物理量のひとつであり、物質の構成物質の指標となるだけでなく、様々な力学的プロセス (重力集積、衝突など) や物理化学的プロセス (熱変成) にとっての基本量である。今回は、吸収 CT 像から粒子の体積が正確に求められ、重量は精密電子天秤によって容易に測定できるので、これより粒子のバルク密度が求められる。0.84 ~ 94.1 mg の重量を持つ 10 粒子の密度の範囲は 1.65 ~ 1.93 g/cm³ で、その平均は 1.79±0.08 g/cm³ である。一方、対応する CI (Orgueil 隕石) のバルク密度は 1.58、1.91 g/cm³ という 2 つの異なる値が報告されている^[17]。隕石のバルク密度測定には通常細粒のビーズを用いたアルキメデス法 (ビーズ法) が用いられるが、今回のような小さな粒子に用いることは困難で、高分解能を持つ CT で体積を求める手法は、とくにはやぶさ 2 サンプルのような力学的に弱い小さい試料での正確な密度測定には、最適であると考えられる。なお、今回はやぶさ 2 サンプルと CI 隕石を比較してわかった重要なことのひとつは、後にも述べるように CI 隕石は地上で大気中の水蒸気との反応により、一部の含水ケイ酸塩が膨潤し、さらに新たに硫酸塩鉱物が生成していることである。例えば、硫酸塩鉱物の生成はすでであったクラックを押し広げ、バルク密度は低くなることが予想される。上述の Orgueil 隕石の密度のバラツキ

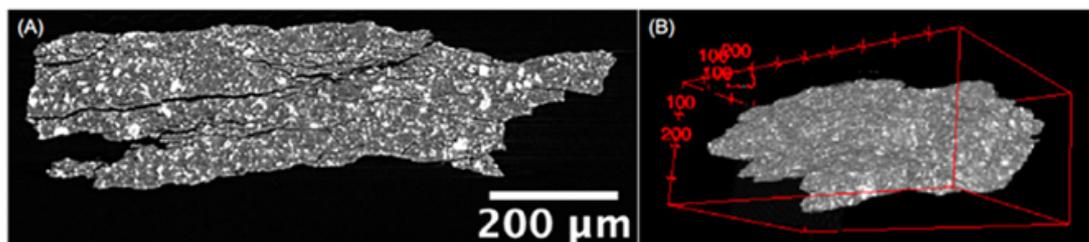


図 14 衝突の痕跡を持つ粒子 (C0055)。(A) 吸収 CT 像。(B) 粒子の鳥瞰図。

は、隕石の不均一性というよりは、このような地上風化に起因しているのかもしれない。今回決められた密度は、地上風化を受ける前の CI あるいは類似物質の密度ということになる。

全ての粒子には多かれ少なかれクラックが存在し、これらのサンプルが生成後に受けた履歴を表している。一部の粒子は扁平な形状を持ち、その内部には無数のクラックが外形に平行に走っており (図 14)、リュウグウ (母天体?) 表面で衝突を受けた時の圧縮変形により形成されたものと考えられる。一方、多くのクラックは、CT 像で明るさの異なる領域や結晶粒子外形に沿って走っており (図 13)、リュウグウ母天体表面での衝突、小惑星の加熱冷却サイクルによる熱衝撃あるいは水質変成後の乾燥に伴う収縮によってできたものと思われる。

配分された粒子は、統合 CT による撮影後、その 3 次元情報をもとに切断され、その後の様々な分析が効率的に行われ、様々な成果が得られている^[5,12,16]。また、一部の大きな粒子では、等しいサイズで作られた 3D プリンタの出力から雌型を作り、その雌型に実物の粒子を設置して、希望する方向での粒子切断が行われた。

3-2. 小さな粒子の分析 (BL47XU における分析ナノ CT)

2021A では、48 粒子 (長径サイズ: 約 15~170 μm) が配分された。ナノ CT 撮影により、これらは主としてマトリクスから成る粒子 (33 粒子) (図 15A)、単一の鉱物からなる粒子 (pyrrhotite: 5 粒子 (図 15B)、dolomite: 2 粒子、breunnerite: 4 粒子 (図 15C)、Na,Mg リン酸塩: 1 粒子)、ユニークな粒子 (2 粒子)、人工物 (ガラス)

(1 粒子) からなることがわかった^[16]。このうちの大きな pyrrhotite4 粒子は X 線が透過する 7 keV での吸収像のみを撮影、その他の粒子は DET-SIXM 法による撮影を行った (7 keV 吸収像: 47.4 nm/画素、7.35 keV 吸収像: 51.1 nm/画素、8 keV 位相像: 111.1 (~222.1) \times 111.1 (~222.1) \times 109.2 nm/画素)。また、6 粒子については、関心領域の局所吸収 CT 撮影 (17.7 nm/画素) を行った。

主としてマトリクスから成る粒子は、含水層状ケイ酸塩鉱物 (serpentine および saponite: これらは DET-SIXM 法では区別できない) からなるマトリクス中に、pyrrhotite、dolomite、apatite などの様々な鉱物粒子が存在している (図 15A)。これらの鉱物は、図 9 に示したように、RGB-CT 像により色の違いによって認識されるとともに、LAC-RID の 3 次元ヒストグラムにおいて、既存の鉱物と比較することにより、定量的に識別される。また、数 μm 以下の IOM (不溶性有機物) と呼ばれる有機物粒子や、クラックが認められる。これらの鉱物組み合わせとその組織は、リュウグウサンプルが CI あるいはその類似物質であることと一致している。

LAC-RID3 次元ヒストグラムのピーク (図 9 右の赤や青の丸) から、マトリクスの平均密度 ($1.8 \pm 0.3 \text{ g/cm}^3$) と含水層状ケイ酸塩鉱物の Mg/(Mg+Fe) 比 (0.83 ± 0.04) を求めることができる。リュウグウ物質のもう一つの候補と考えられた CM はこれより高密度で Fe に富み、リュウグウ粒子のものとは明らかに異なる。一方、CI もやや高密度で Fe に富みリュウグウ粒子とやや異なるが、これは CI が地上風化を受けたためかもしれない。加熱した CI 粒子は CI よりも高密度で、リュウグウ粒子には含水層状ケイ酸塩鉱物の脱水の痕跡もないことから、リュウグウ粒子は少なくとも 500°C 以上の大きな加熱は受けて

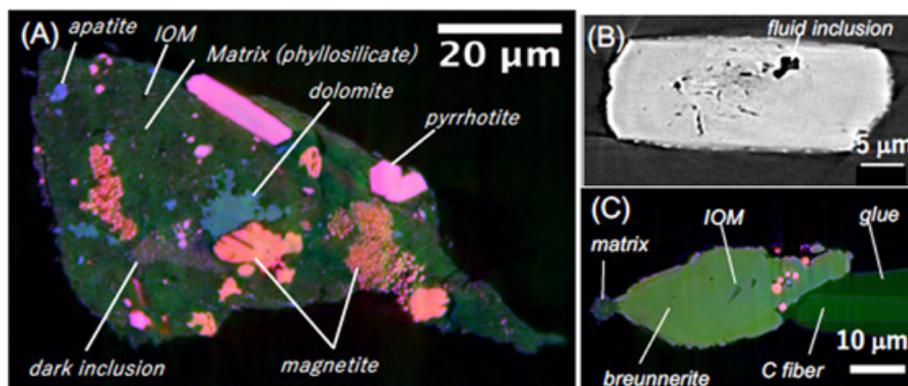


図 15 リュウグウ粒子のナノ CT 像。(A) 主としてマトリクスからなる粒子 (RGB-CT 像: C0103-FC007)。(B) pyrrhotite 粒子 (7 keV 吸収 CT 像: C0002-FC012)。(C) breunnerite 粒子 (RGB-CT 像: A0067-FC003)。

いないこともわかった。

ナノ CT により、多くの鉱物粒子は、別種の鉱物の包有物や、空隙さらに空隙ではない低密度の包有物を含んでいることがわかった。大きな pyrrhotite 結晶中の包有物について、流体が凍るような極低温で包有物の断面を出して TOF-SIMS により分析を行ったところ、 H_2O だけでなく CO_2 に起因する信号が得られ、 CO_2-H_2O 流体（または液体）の包有物であるとわかった¹²⁾。これは、小惑星における H_2O を含む流体の最初の発見であり、 CO_2 も含むことから、リュウグウの母天体が木星の外側の低温領域で形成されたことがわかった。

太陽系外側の低温領域では、石の成分（主として非晶質ケイ酸塩）と氷が集まって、微惑星と呼ばれる小天体が作られたと考えられる^{13,8)}。氷はやがて融け、石の成分と反応して、水質変成が起こる。このようにしてできた小天体（リュウグウの母天体）が衝突で破壊され、その一部が再集積したものがリュウグウである。リュウグウサンプルに見られる鉱物のほとんどは、水質変成時に CO_2-H_2O 流体から析出したものである。

ナノ CT からは 3 次元組織（鉱物の 3 次元分布）での異なる鉱物種の包有関係や、鉱物粒子の結晶 3 次元外形がわかる。全ての pyrrhotite 粒子は 6 角板状の外形（図 16A）を持つのに対して、magnetite は球晶状、木茸状（図 16B）、プラケット状、棒状、自形等粒状など多様な結晶形態を持つ。また、dolomite や breunnerite は扁平な菱面体（図 16C）、apatite は 6 角柱状の結晶外形を示す。

鉱物の包有関係からは、以下のようなリュウグウが受けた水質変成プロセスのモデルを提唱できる：(1) Fe や FeS のナノ粒子を含む非晶質ケイ酸塩微粒子の

流体への溶解、(2) 生成された溶液（流体）からの含水層状ケイ酸塩と magnetite の析出、(3) pyrrhotite の析出（溶解と再析出）、(4) apatite の析出、(5) dolomite や breunnerite の析出。非晶質ケイ酸塩は反応性が高いため、高過飽和度溶液が生成され、最初に不規則形状を持つ球晶状、木茸状、プラケット状などの magnetite が析出し、やがて溶液の過飽和度が下がり規則的な形状をもった結晶が析出したと考えられる。

ナノ CT からはまた、粒子の 3 次元外形や微細表面構造の情報も得られる。はやぶさ計画によって S 型小惑星イトカワから採取された粒子の表面は、破断面の他に平坦で丸い面を持っており、それぞれ小惑星表面での衝突による破壊と粒子流動による機械的な摩耗に対応していると考えられた¹⁸⁾。リュウグウ粒子にも平坦な曲面が存在するが、イトカワ粒子のように明確な破断面と摩耗面という区別ができない¹⁸⁾。これは、イトカワ粒子は強度の高い熱変成を受けた普通コンドライトであるのに対して、リュウグウ粒子は主に含水層状ケイ酸塩（粘土鉱物）からなる強度の弱い物質のためと考えられる。なお、多くのリュウグウ粒子表面には、微隕石の衝突によって生成された微小クレーターや、融けたメルトの小滴がガラスとして存在している¹⁸⁾。

4. 成果のまとめと意義、今後の課題

本課題では、サンプル粒子のサイズを考慮した最適な X 線 CT の手法 (>~100 μm 粒子：BL20XU での統合 CT、<~100 μm 粒子：BL47XU での分析ナノ CT) を用いて、はやぶさ 2 計画により小惑星リュウグウから採取されたサンプル粒子の初期分析を行っ

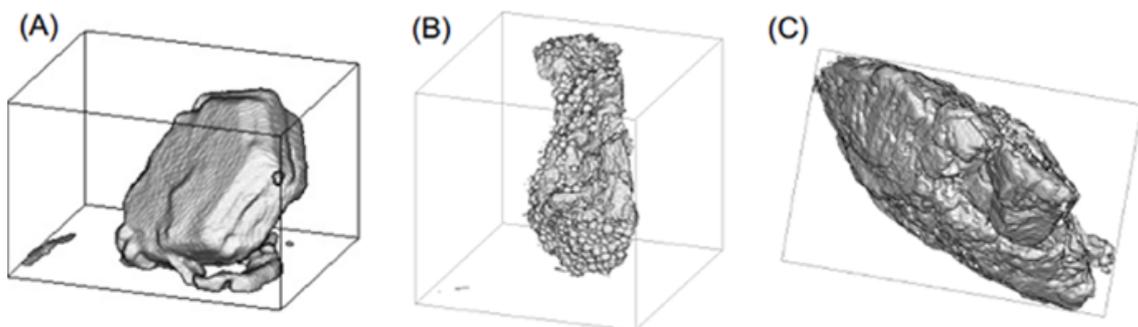


図 16 ナノ CT により得られた鉱物の 3 次元外形（鳥瞰図）。(A) pyrrhotite (A3_MPF_X009)。(B) 木茸状 magnetite を表面に持つ粒子 (A3_MPF_X005)。(C) breunnerite (A0067-FC003)。

た。また、初期分析に先立って、分析技術の開発や手法評価とリハーサル分析を行い、これを初期分析に適用することにより、大きな成果をあげることができた。

本課題により、小惑星リュウグウの物質は、表面反射スペクトル観測から予想されていた炭素質コンドライト^[2]の中でも CI と呼ばれるグループあるいはその類似物質であることがわかった^[5,12,15,16]。CI は太陽系の平均組成を持ち最も始原的な隕石であるが、リュウグウサンプルは CI のように地上風化を受ける以前のより始原的な物質である。また、含水層状ケイ酸塩の存在により、水が結晶中の水酸基や水分子として小惑星に存在することが初めて示された^[5,12,15,16]。

上記の成果は、他の分析手法によっても確認されているが^[13,14]、本課題における CO₂-H₂O 流体包有物の発見^[12]は、ナノ CT で初めて可能となったものであり、リュウグウ母天体の形成領域（太陽系外側の低温領域）を特定することができ、近年のダイナミックな太陽系形成モデルの確証ともなった。また、3次元組織の解析により、リュウグウ母天体での水質変成の具体的なモデルを提唱することができた。なお、このモデルは作業仮説であり、今後の検証が必要である。

一方、CT 像から粒子の体積を正確に求めることができ、リュウグウ粒子のような低強度の小さな粒子でもバルク密度を正確に決めることができた (1.79±0.08 g/cm³)。物質の密度は最も重要な物理量のひとつであり、リュウグウだけでなく CI 隕石母天体の成因と進化を考える上で基本的なものである。

本手法は、非破壊分析という特性のため、多くの破壊分析に先駆けて実施され、分析フロー下流での様々な分析が効率的に行われた^[5,12,16]。

はやぶさ 2 サンプルは 2022 年 5 月で初期分析を終えた。本課題は 2021A で終了したが、その後の 2021B、2022A でも初期分析を続け、また初期分析以降の公募分析フェーズでのさらなる分析も計画している。本課題での成果は、現時点では 1 編の論文が国際誌に受理され、多くの論文がレビュー中あるいは投稿準備中となっている。この中には、本稿で書ききれなかった多くの成果も含まれており、今後の分析も含めて、さらなる成果が期待できる。

参考文献

- [1] S. Tachibana *et al.*: *Science* **375** (2022) 1011-1016.
- [2] K. Kitazato *et al.*: *Science* **364** (2019) 272-275.
- [3] M. Matsumoto *et al.*: *Sci. Adv.* **5** (2019) eaax5078.
- [4] M. Uesugi *et al.*: *Rev. Sci. Instrum.* **91** (2020) 035107.
- [5] M. Ito *et al.*: *Nature Astron.* <https://doi.org/10.1038/s41550-022-01745-5>, 2022.
- [6] A. Takeuchi, K. Uesugi and Y. Suzuki: *J. Synchrotron Rad.* **20** (2013) 793-800.
- [7] A. Tsuchiyama *et al.*: *Geochim. Cosmochim. Acta* **116** (2013) 5-16.
- [8] A. Tsuchiyama *et al.*: *Sci. Adv.* **7** (2021) eabg9707.
- [9] T. Noguchi *et al.*: *Polar Sci.* **29** (2021) 100727.
- [10] M. Matsumoto *et al.*: *Geochim. Cosmochim. Acta* **323** (2022) 220-241.
- [11] Z. Dionnet *et al.*: *Meteor. Planet. Sci.* **55** (2020) 1645-1664.
- [12] T. Nakamura *et al.*: *53rd Lunar Planet. Sci. Conf.* (2022) pdf.1753.
- [13] T. Yokoyama *et al.*: *Science* (2022) abn7850.
- [14] E. Nakamura *et al.*: *Proc. Jpn. Acad. Ser. B* **98** (2022) 227-282.
- [15] T. Noguchi *et al.*: *53rd Lunar Planet. Sci. Conf.* (2022) pdf.1747.
- [16] A. Tsuchiyama *et al.*: *53rd Lunar Planet. Sci. Conf.* (2022) pdf.1858.
- [17] A. R. Hildebrand *et al.*: *Meteor. Planet. Sci.* **41** (2006) 407-431.
- [18] A. Tsuchiyama *et al.*: *Science* **333** (2011) 1125-1128.

※用語解説

・炭素質コンドライトは、コンドリユールと呼ばれる球状粒子を含む始原的な隕石のうち、無機化合物や有機物の形で炭素を含むものである。

炭素質コンドライトはその元素組成や酸素同位体組成により CI、CM、CV、CO、CH、CR、CK などの化学グループに分類される。炭素質を表す C の次の文字はそのグループを代表する隕石の名前から取られている (例えば、CM は Mighei 隕石、CI は Ivuna 隕石)。

土山 明 TSUCHIYAMA Akira

立命館大学 総合科学技術研究機構
〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1
TEL : 077-561-2681
e-mail : atsuchi@fc.ritsumei.ac.jp

松野 淳也 MATSUNO Junya

立命館大学 総合科学技術研究機構
〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1
TEL : 077-561-2681
e-mail : jmatsuno@fc.ritsumeai.ac.jp

上楯 真之 UESUGI Masayuki

(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 : uesugi@spring8.or.jp

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

松本 恵 MATSUMOTO Megumi

東北大学 高度教養教育・学生支援機構
〒525-8577 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3
TEL : 022-795-5789
e-mail : m_matsumoto@tohoku.ac.jp

The 9th International Conference on Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy (HAXPES 2022) 会議報告

公益財団法人高輝度光科学研究センター

放射光利用研究基盤センター 産業利用・産学連携推進室

安野 聡

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

高木 康多

1. はじめに

2022年5月31日～6月3日に兵庫県姫路市アクリエひめじ (Himeji Culture and Convention Center) にて、硬 X 線光電子分光 (HAXPES、HARd X-ray PhotoElectron Spectroscopy) の国際会議 The 9th International Conference on Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy (HAXPES 2022) が開催された¹⁾ (図1に会場となったアクリエひめじの外観を示す)。HAXPESは数 keV～15 keVの硬 X 線を励起光として用いる光電子分光 (XPS、X-ray Photoelectron Spectroscopy) であり、一般に普及している軟 X 線の XPS に比べて、検出される光電子の運動エネルギーが数倍大きく、検出深さが数十 nm 程度にまで大きくなる特徴を持つ。これにより試料深部の電子状態や結合状態を非破壊で調べることが可能となり、近年はデバイス開発や実用材料などの産業利用をはじめ様々な研究分野における分析評価ツールとして定着し、また原子分子物理などの学術系分野への応用も進んでいる。当会議はこうした HAXPES に関連した基礎物性研究や応用事例に加え、最新のビームラインや装置開発から理論も含む広範な研究内容が報告される会議である。2003年に HAXPES のワークショップとしてフランス グルノーブルで第1回が開催され、2006年には SPring-8 で第2回目のワークショップが開催されている。その後、2011年の第4回のドイツ ハンブルグ開催で国際会議へ昇格し、前回の2019年のフランス パリ開催を経て、今回で9回目の開催となる。近年は2年に一度の間隔で開催されており、

本会議も本来は2021年秋の開催予定であったが、新型コロナウイルスの感染拡大による影響で1年延期して2022年の開催となった。今回の会議は、理化学研究所により主催され、Co-Chairs を大阪大学の関山氏、理化学研究所の大浦氏、名古屋大学の池永氏が務められた。

会議は参加12ヶ国、参加人数は117名(日本からの参加者は全体の51%、ドイツ14%、スウェーデン13%、米国5%、フランス5%、UK4%、その他8%)、4件のPlenary talksと11件のInvited talks、一般口頭発表29件、ポスター発表32件、企業展示5社があり、4日間の会期で開催された。

2. オンサイト・オンラインによるハイブリッド形式

筆者らは現地実行委員として本会議の準備、運営に携わってきた。先述の通り新型コロナウイルス禍に



図1 HAXPES 2022 が開催されたアクリエひめじ (Himeji Culture and Convention Center) の外観

よる影響を考慮して、当初からオンサイト・オンラインによるハイブリッド形式での会議開催の計画を進めていた。一方で変異株による周期的な感染の再拡大やウクライナ情勢など目まぐるしく変化する状況に翻弄され続けた。オンサイトの参加人数や海外からの参加者などについては、会議直前まで正確な情報を把握することができず、会場規模や会場設営方法などについて開催日ぎりぎりまで議論することとなった。特に海外渡航者の査証（ビザ）の対応については上記の通り新型コロナウイルス感染症と政治的背景が重なり、対応された大浦氏をはじめとする理化学研究所の担当者の方々には相当のご苦労や困難があったことは想像に難くない。

このような状況のため、特に海外からの参加者の多くはオンラインになることが予想された。よって講演プログラムについては、オンライン発表者（アジア、米国、欧州）の時差を考慮した緻密な編成を組み、講演者の負荷を可能な限り低減することに努めた。大雑把には日本時間の午前中は米国、アジアを中心とした講演、午後は欧州を中心とした講演で構成されたプログラムとした。また時差の都合などで発表を聞き逃した聴講者への配慮のため、講演終了後でも各講演の録画を視聴することが可能なオンデマンド配信も実施した。

口頭発表は、Zoom meetingsを使用した。図2にオンライン講演時の会場の様子を示す。現地会場では発表者のプレゼンテーションスライドに加えて、オンライン発表者自身のビデオ映像もプロジェクターでスライドの横に大きく表示させるなどの工夫をした。その結果、現地会場ではオンラインの発表であっても臨場感のある雰囲気を作ることに成功し、活発な議論を進めることに繋がっていたのではないかとと思われる。

今回の講演のオンライン配信については、オンライン上での共有画面（現地会場からのプレゼンテーションスライド、発表者、座長、質問者、会場全体の映像など）や音声の対応は全て専門業者へ依頼した。その結果、各種映像と音声のスムーズな切り替えや場面々々での最適なカメラ位置、音量調整により、オンサイト、オンライン講演に関わらず、全くストレスを感じることなくプログラムを進行させることができた。今回の会期を通して、大きな混乱もなく円滑な会議運営を行うことができたのは、このような映像配信

の専門業者による当意即妙な対応に依るところも大きかったのではないかと思う。

ポスター発表は、オンサイト・オンラインでの発表形式を準備した。オンラインではZoom meetingsのブレイクアウトルーム機能を使用し、オンサイトではポスター会場を設けてポスター掲示と報告が行われた（図3にポスター会場の様子を示す）。しかしながら、ポスター発表については、スケジュールが非常にタイトであったため、オンサイト・オンラインともに十分に議論する時間を設けることができなかったのは残念であり、実行委員としても反省すべき点と考えている。

3. 会議及び講演内容の概要

会議の日程は、全日に亘ってのシングルセッションでの口頭発表と2日目午後の企業プレゼンテーション、C. Fadley氏及びY. Takata氏を偲ぶMemorial Talk、夕刻時のポスターセッションで構成され、各々の分



図2 講演会場の様子（写真はオンライン発表者による講演時のもの）



図3 ポスター発表及び企業展示ブース会場の様子

野における研究報告と議論が進められた。また、初日夕刻の Welcome Reception を始め、適度な間隔での Coffee break、また日本らしさを感じることもできる Lunch と Dinner が提供された。その他、サックス四重奏による生演奏（姫路ウィンドアンサンブル）、3 日目午後の姫路城近辺の散策、最終日午後の SPring-8/SACLA へのサイトツアー（図 4）など、随所でおもてなしを提供することができ、特に外国人参加者達の受けも良いように見受けられた。

本会議の講演分類としては、基礎物性に重きをおいた Atomic and Molecular Science や Theory、実用材料への応用やオペランド測定に関する報告が多かった Functional interfaces や Energy Research and Industrial Applications、その他 Techniques and Instrumentations における測定手法、装置、ビームラインの話題など、幅広い分野に関する計 7 topics が用意された（講演分類を表 1 に示す）。このように HAXPES が関連した多種多様な研究報告に一度に触れることができるのが本会議の最大の魅力と言える。

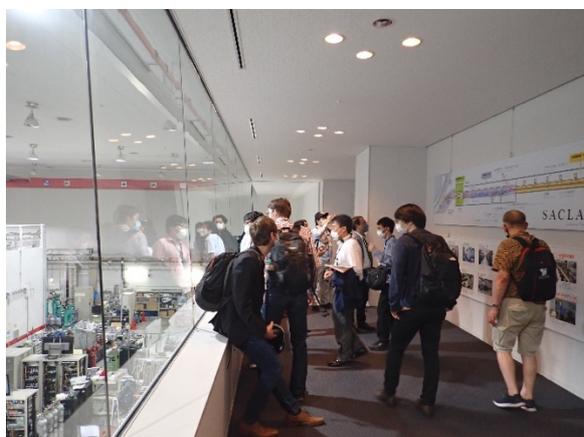


図 4 SPring-8/SACLA サイトツアーの様子

表 1 HAXPES 2022 の講演分類

■ TOPICS

- Topic 1 - Atomic and Molecular Science
- Topic 2 - Correlated and Magnetic Materials
- Topic 3 - Functional Interfaces
- Topic 4 - Theory
- Topic 5 - Energy Research and Industrial Applications
- Topic 6 - Techniques and Instrumentations
- Topic 7 - New Trends and Applications

以下に、筆者らが聴講した中で特に印象的だったものを Topic 毎に簡単に記述する。

Topic 1 Atomic and Molecular Science

このトピックの Plenary 講演として Sorbonne University の M. Simon 氏が講演し、分子（ガス）や原子に対する HAXPES に関連して、分子の recoil 効果や Double Core Hole spectroscopy などについて最新の結果を交えつつ分かり易く解説していた。また将来展望として 20 keV 以上の入射光を用いた測定や XFEL 利用についても触れ、HAXPES の原子・分子への適用について紹介していた。また University of Oulu の M. Patanen 氏からは Ar クラスターの HAXPES の測定が報告された。入射エネルギーと光電子のエネルギーのマッピングから Ar 原子成分を除いてクラスターの成分を取り出し、その結果を詳しく解析していた。HAXPES が固体だけでなく分子や原子クラスターにも適応できる例であり、HAXPES の適応範囲の広さをあらためて感じた。

Topic 2 Correlated and Magnetic Materials

大阪大学の H. Fujiwara 氏から、HAXPES、共鳴非弾性 X 線散乱における磁気円二色性測定（RIXS-MCD）、X 線吸収分光における磁気円二色性測定（XAS-MCD）を組み合わせた強磁性体ホイスラー合金の電子構造観測についての招待講演があった。RIXS-MCD により Co_2MnSi の電子構造をスピン成分（up、down）に分解して観測した事例は大変興味深く、金属的挙動（電気伝導性）を示すスピン成分（up）の電子状態が半導体的特徴を担うスピン成分（down）のバンドギャップ中に位置するハーフメタル型電子構造であることを直接観測により明らかにしていた。その他、東芝ナノアナリシスの M. Taguchi 氏からは、 LaSrMnO などの酸化物材料について全反射条件と通常の測定条件を組み合わせた HAXPES の深さ方向分析により、表面近傍とバルクにおける電子状態の違いを明確に検出することに成功していた。

Topic 3 Functional Interfaces

2 日目午後の Plenary 講演として、University of Würzburg の M. Sing 氏から、 $\text{LaAlO}_3/\text{SrTiO}_3$ ヘテロ

構造界面に生じる Two-Dimensional Electron System (2DES) の形成メカニズムと精密なバンドダイアグラム評価についての研究結果が報告された。通常、2DES 層形成に関与するとされる酸素欠損は X 線照射によってダメージとして生じてしまう。これを逆に利用し測定中に酸素ドーピングを行うことで酸素欠損量を制御し、価電子帯近傍の In-gap state とフェルミ近傍の Metallic quasiparticle (2DES) の変化を上手く観測し、それぞれの形成由来について考察していた。他、Poisson-Schrödinger 法を用いたバンドベンディングの解析やバンドオフセットの評価を組み合わせた精密なバンドダイアグラム評価も実施していた。半導体材料の評価、解析で大変参考になる HAXPES の特性を活かした好例であったと思う。

Topic 4 Theory

理論のトピックでは、大阪公立大学の A. Hariki 氏から招待講演として、従来のクラスターモデルに局所密度近似 (LDA) と動的平均場近似 (DMFT) を適用した方法を用いて、強相関係における 3d 遷移金属の内殻光電子スペクトルの計算の報告があった。LDA と DMFT を導入することによってサテライト構造などを正確に再現しており、HAXPES スペクトルの解析に非常に有効だと感じた。この他にも、Self-Consistent-Field method による遷移金属化合物の理論値と実験値の比較、Angle Resolved PES (ARPES) の機械学習や KKR method による解析、recoil の理論など、このトピックとしてポスターを含め 6 件の報告があり、HAXPES の測定結果を解析するのに理論の補助が重要であることを再認識することになった。

Topic 5 Energy Research and Industrial Applications

最終日に Plenary 講演として Gwangju Institute of Science and Technology の B. S. Mun 氏から Ambient Pressure-XPS (AP-XPS) を用いた固体表面でおこる触媒反応についての講演があった。AP-XPS 装置の技術的な話から始まり、AP-XPS を用いた Rh (111) や Pt₃Ni (111) のような単結晶表面上での CO₂ の解離の結果を示していた。また合わせてガス下の走査トンネル顕微鏡を用いて表面の morphology も調べており、固体表面の触媒反応について詳細な議論を行ってい

た。加えて、HAXPES 領域の AP-XPS (AP-HAXPES) についても紹介し、今後の展望を述べていた。AP-HAXPES については、招待講演として Lund University の S. Blomberg 氏から Pd (001) 表面上での CO 酸化のオペランド測定についての報告があった。6%の O₂ と CO ガスを含んだ He ガスの一気圧下での HAXPES 測定を行っており、試料温度の上昇に対して各ガスが反応して変化している様子が明確に示されていた。AP-HAXPES 関連の多数の報告があり、いわゆる Pressure gap の克服のために、これまで一般的であった準大気圧から大気圧、さらに高圧条件下での測定を目標にすることが技術開発のトレンドになっており、今後の進展や適用分野の拡がりにも期待したいところである。

この他にも Helmholtz-Zentrum Berlin の M. Bär 氏の招待講演をはじめ、太陽電池やリチウム電池のオペランド測定などが報告されており、HAXPES のバルク敏感という特徴とデバイス開発への有用性が良く示されていた。

Topic 6 Techniques and Instrumentations

初日に Plenary 講演として Johannes Gutenberg University の G. Schönhense 氏が PETRA III の HAXPES 専用ビームライン (P22) に設置された Time of flight (ToF) 型のモーメント顕微鏡について報告した。運動量空間の電子状態マッピング測定や X 線光電子回折、また光電子顕微鏡によるサブ μm 領域からの ARPES の結果など、数多くの測定例ともに最先端の結果が紹介された。非常に応用範囲が広く、素晴らしい成果を数多くあげており、今後も注目される装置である。

各国の放射光施設の HAXPES ビームラインについても報告があった。ドイツの PETRA III の P22 については DESY の C. Schlueter 氏が招待講演として報告した。上記のモーメント顕微鏡を含め、通常の HAXPES の他に、AP-HAXPES や Photoelectron Emission Microscope (PEEM) も設置されており、最先端の HAXPES 装置が並ぶビームラインである。その他、将来の PETRA IV に向けたアップグレードの計画についても報告していた。一方、SPring-8 でも 2021 年の秋から BL09XU が HAXPES 専用ビームラ

インとして一般利用が開始されている。これについては JASRI の A. Yasui 氏が招待講演として報告した。光学系や装置のアップグレードの詳細や最新の測定結果が紹介された。また、BL46XU を第二の HAXPES 専用ビームラインとしてアップグレードし、2023 年度の利用開始が計画されていることも紹介された。

新たに HAXPES が利用できるビームラインとして Karlsruhe Institute of Technology の L. Weinhardt 氏から KIT light source で計画されている X-SPEC ビームラインについての報告があった。このビームラインは 70 eV から 15 keV までの軟 X 線から硬 X 線まで利用できるビームラインになるとのことである。XPS では入射光のエネルギーで検出深度が大きく変化し、軟 X 線では表面敏感であり硬 X 線ではバルク敏感になるため、広い範囲のエネルギーが利用できる当ビームラインでは、測定の幅が非常に広がることが期待される。

Topic 7 New Trends and Applications

University Grenoble Alpes の P.-M. Deleuze 氏より、Lab-HAXPES (Cr K α) による半導体デバイスへの応用事例と HAXPES では報告例の少ない定量解析に必要な相対感度係数 (RSFs、Relative Sensitivity factors) についての報告があった。RSFs は純金属を使用した実験値から値を求めており、Ag3d を基準とした pure element RSFs について 54 元素ものデータを収集しているとのことであった。従来の XPS と同様な簡便な定量解析が可能となれば、さらに応用分野やユーザーが増えていくことが期待される。その他、ULVAC-PHI の H.Y.Chang 氏からは、同じく Cr K α 線源の Lab-HAXPES を使用した応用事例の紹介があった。Ar イオン銃により評価対象となる深さ領域へのダメージが及ばないように表層を適当な膜厚になるまでスパッタエッチングしてから測定を行うとの内容であった。これを応用することで実構造や HAXPES の検出深さより深い領域での分析が可能となり大変興味深いものであるが、実際にどのようにスパッタ時間 (適当な膜厚にするための) を決定しているのか、方法や条件などを今後調査しておきたいところである。

会議全体を通してみると、HAXPES の Bulk sensitivity を活かした試料深部や異種界面の分析が、透明導電性金属酸化物や 4f 電子系物質、半導体、二次電池、太陽電池など多くの研究分野で応用されていることが窺い知れた。またバルクだけでなく、X 線定在波法を利用したヘテロ (multilayered) 構造試料の精密なレイヤー選択性評価や全反射を利用した表面と深部の切り分けなど、検出深さを上手く制御して深さ方向分析を行う報告も見られた。近年の傾向として、放射光施設だけでなく Lab-HAXPES として既に市販化されている硬 X 線の線源 (Ga K α もしくは Cr K α) を使用した Scienta Omicron や ULVAC-PHI の装置による報告事例が多く見られた (口頭発表とポスター発表で計 10 件程度)。これまで放射光施設に限定されていた HAXPES が Lab 型装置によってさらに一般に広く普及していくことを予感させられた。その他、共鳴 HAXPES、共鳴 Auger 電子分光法、RIXS など共鳴計測に関する研究報告も多くなされており、その有用性から今後も引き続き研究や技術開発のトレンドが続くものと実感した。

4. おわりに

Closing session は、大阪大学の関山氏と W. Drube 氏により進められた。本会議の優れた講演に贈られる C. S. Fadley Prize は J.-P. Rueff 氏 (Probing quantum materials interfaces with HAXPES at the GALAXIES beamline : results and perspectives) が受賞され、Y. Takata Prize は D. Hauschild 氏 (Core-level peaks and the inelastic background in HAXPES: a depth-resolved analysis of the CdS/Cu (In, Ga) Se₂ interface for thin-film solar cells) が受賞された。

次回 HAXPES 2024 はチェコ プルゼニでの開催が予定されている (2024 年 6 月 or 9 月)。学術、産業と分野を問わず拡がり続ける HAXPES がさらにどのような発展を見せるのか今後の動向に期待したい。

参考文献

[1] <http://rsc.riken.jp/haxpes2022/index.html>

WORKSHOP AND COMMITTEE REPORT

安野 聡 YASUNO Satoshi

(公財) 高輝度光科学研究センター
放射光利用研究基盤センター 産業利用・産学連携推進室
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-0924
e-mail : yasuno@spring8.or.jp

高木 康多 TAKAGI Yasumasa

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

第 15 回 X 線顕微鏡国際会議 (XRM2022) 報告

公益財団法人高輝度光科学研究センター
放射光利用研究基盤センター
散乱・イメージング推進室 竹内 晃久

1. はじめに

2022 年 6 月 19 日より 6 日間の日程で、第 15 回 X 線顕微鏡国際会議 (15th International Conference on X-ray Microscopy, XRM2022) が、台湾新竹市の National Synchrotron Radiation Research Center (NSRRC) の主催により開催された。本会議は、第 1 回が 1983 年にドイツ Göttingen で開催され、以降 3 年に一度開催されていた。2008 年以降は X 線顕微鏡の急激な発展に伴い 2 年に一度の開催となった。今回の会議は本来 2020 年に開催されるはずであったが、新型コロナウイルス感染症の影響により 2 年の延期を経た後、今年オンラインで開催された。Closing remark でも言及されていたが、パンデミックその他世界情勢が急激に変化していく中で、本会議は多くの初の試みとして、延期、バーチャル開催、2 会議分の運営、時差を考慮したスケジュール等々…を断行し、にも関わらず大過なく 24 日に無事に全日程を終えた。会議関係者の皆様には、多くの困難や無念を乗り越え無事に開催して頂いたことにこの場をお借りして篤く御礼申し上げたい。

オンライン会議進行に関しては、Whova システムを会議のポータルサイトとして利用し、ここでスケジュール確認や各セッション・発表へのリンクへアクセスできるようになっていた。口頭発表は Webex、ポスター発表は Gather Town で実施された (図 1)。Gather Town では自分のアバターを作成し、ポスターが展示された仮想空間を十字キーで目的地に移動させる。その世界観と操作感はちょっとした RPG ゲームのそれで楽しく便利であったが、なにせリアル自分には職場にいる。傍目の人からもゲームをやっているように見られ、その都度いやいや誤解ですこれ仕事なんですよと説明するのは多少難儀した。4 年越しということもあってか、そして、オンラインで時差を考

慮してということもあってか、いつにましてみっちりとした会議スケジュールであった。期間中はほぼ朝 9 時半から夜 23 時過ぎまで。もちろん途中昼食や夕食のブレイクはあるが、このサイクルが月一金の間続き、あまりの濃密さに翌週半ばくらいまで疲れが取れなかった程だ。幸い、日本は台湾と時差が 1 時間しかないため、大きく生活習慣が乱されることはなかったが、通常業務と多くの時間が重なるため集中しての視聴がなかなか難しいところもあった。口頭発表数は、plenary 6 件、invited 28 件、contributed 70 件、また、オンラインのため企業展示の代わりに sponsor presentation が 3 件 (JTEC Co., Optique Peter, Thermo Fisher Scientific) 組まれた。plenary と invited の一部以外は 2 つのセッションに別れ並行して進行した。ただし今回はオンラインで各国参加者の時差を考慮したということもあり、多くの発表はビデオ録画され見逃し配信により後で視聴可能だった (最長 2022 年 7 月 31 日まで) のは有り難かった。ポスター発表には 113 件のエントリーがあった。オンラ



図 1 Gather Town によるポスターセッションの様子。上下左右キーにより自分のアバターを移動させる。町人のように見えるのは自分以外の参加者のアバター。これらのアバターやポスターのシンボルに近づくことでエンカウント。

イン開催のためバンケット等は省略されたが、最終日の休憩時間にはビデオに小粋にまとめられた NSRRC バーチャルサイトツアーが上映された。なお、今回に関しては全てのセッションの座長を台湾 NSRRC または Tamkang 大学の現地スタッフが務めた。

本稿については、前述のように殆どの口頭発表は期間限定で録画視聴可能であるため、期間中のほぼ全ての話題について触れることも原理的に可能である。が、紙面と労力の都合でここでは筆者が印象に残った所のみピックアップして報告したい。

2. 会議の様子

以前の XRM では、新しい手法や光学系の紹介、空間分解能の更新等に関するトピックが会議の度に目白押しであったが、40 周年を間近に迎えるにあたり、特にここ 10 年ほどで話題はアプリケーションが多くを占めるようになってきた。それは X 線顕微イメージング技術が成熟してきたことを意味するのだろう。我々のような装置屋からすると少し寂しさのようなものを感じる…というのがここ最近の報告書のテンプレートであったが、今回は 4 年間の蓄積もあつてか、些か趣が違った。確かに、従来のスペックを大きく超えていくような報告や、画期的な素子や光学系の報告は無かったものの、それらをブラッシュアップしていくアイデアや、特に目立ったのは幾つかの測定技術を統合したイメージング技術の報告であった。例えば、high-/hyper-/multi-/dimension…といったキーワードが目についた。高い透過力、様々な相互作用といった X 線の特色を活かすには 2 次元、3 次元だけでなく、4 次元、或いはそれ以上の情報量を、という流れは当然のことであろう。証拠に、今回の発表で出てきた X 線像は殆どがカラーであった。「X 線写真はモノクロ」といった認識はもはやすっかり過去のものになりつつある。3 次元空間の吸収/位相にプラスして、時分割、蛍光 X 線、吸収端微細構造、X 線回折、x-ray excited optical luminescence (XEOL)、x-ray beam induced current (XBIC) などのスカラー量の付与の他、磁区、結晶構造、歪、テンションの向きといったベクトルをコントラストとして表示する報告が急激に増えている。ベースとなる光学系は、様々な信号を同時測定できる走査型 X 線顕微鏡が多かった。しかし

測定に時間がかかるため 3 次元空間のイメージングに不向きである。その点で理化学研究所の香村氏が発表したシートビーム顕微鏡は面白い試みである。シートビームによる照射なので試料を 1 次元に走査するだけで XEOL 等の二次信号の 3 次元像が取得できる。

その他キーワードとしては、correlative imaging も頻発していた。これは X 線と他のプローブによるイメージングを組み合わせる方法でたとえば X 線と電子顕微鏡、STED の組み合わせが発表されていた。

3. 光学素子開発関連

光学素子の開発に関する口頭発表は 10 件あった。

PSI の A. Kubec は X 線アクロマートレンズを紹介した。可視光では、特性の異なる凸レンズ凹レンズの組み合わせによる色収差補正レンズがあるが、これを X 線用の凸レンズと回折型光学素子である Fresnel zone plate (FZP) の組み合わせで実現しようというものである。FZP 単独では $\Delta E = 25 \text{ eV}$ に対して、凸レンズとの組み合わせで $\Delta E = 1 \text{ keV}$ 、全体の効率 24% (6.2 keV) を実現した。用いたタンデム凸レンズは近赤外レーザーを使った 3 次元プリンティング技術で作成されたもので、同じ技術で作成された 3 次元イメージング評価用 Siemens Star パターンも印象的であった。

ETH Zürich の L. Romano 氏は高アスペクト比(パターン深さ/幅比) 光学素子のためのシリコン微細加工技術について講演し、その中で Metal-assisted chemical etching (MACE、または Mac-Etch) を利用した高アスペクト比 FZP の紹介があった。MACE FZP については SLAC の R. Akan 氏からも報告があった。高い利用効率と高空間分解能の両立には高アスペクト比構造が必須であるが、従来の製作技術ではアスペクト比 10 程度が限界だったのに対して MACE は一気に 100 オーダーの製作が可能な方法として注目されている。両氏ともアスペクト比 30-100 の FZP を紹介していたが、回折効率はまだ理論との乖離が大きく、更なる製造技術改善が望まれる。

名古屋大学の松山氏からは advanced Kirkpatrick-Baez (AKB) ミラーベースの結像顕微鏡の開発状況が報告された。AKB ミラーは水平垂直それぞれで 2 枚の反射面を使うことで光学系が安定し、軸外収差を抑

えた結像素子として用いることができる光学系である。鏡面のマルチレイヤーコートによる高 NA 化を、X 線干渉計を利用した超精密加工技術によって 1 nm 以下の形状誤差、0.2 Å 以下の D-spacing 誤差で実現し、空間分解能 14 nm が期待できるとのこと。更にはピエゾを並べた deformable ミラーによる補償光学系の導入と波面検出による収差補正により 5 nm 以下の空間分解能も可能であることが紹介された。何かと大型になりやすい X 線光学系の小型化技術にも言及し、Wolter III 型光学系（後述）の導入によって従来の 20 分の 1 以下の鏡筒長を実現（45 m⇒2 m）したことや、LiNbO₃ 単結晶を用いた deformable ミラーの小型化（150 mm⇒50 mm）が説明された。なお、Wolter III 型ベースの AKB ミラーについては大阪大学の山田氏、deformable ミラー補償光学によるサブ 5 nm 空間分解能についての詳細は大阪大学の井上氏より別途口頭発表があった。

東京大学の三村氏からは X 線顕微鏡用に開発されている軸対称電鍍ミラーについて発表があった。大きな NA が可能な軸対称型全反射ミラーは、AKB と異なりマルチレイヤーコーティング無しでもシングル nm の空間分解能が原理的に可能である。これまではボールペンのキャップのような形状の内側を高精度に研磨することが難しく高精度なものの作製は不可能であったが、三村氏らは高精度に加工した石英マンドレル 1 本で、nm レベルの面精度を持つ金属ミラーを常温電鍍法で繰り返し製作可能であることを示し、既に SPring-8 や SACLA の軟 X 線ビームラインに導入されていることが報告された。この製法で作られた軸対称 Wolter ミラーの利用例として、東京大学の木村氏からは細胞の XAFS タイコグラフィのためのアクロマート集光光学系（Coherent Achromatic Rotational Reflective Optics for pTychoigraphy, CARROT と名付けられていた。赤茶けた銅製のテーパー付き円筒形状の外観はまさに人参のそれであり、命名者に拍手を送りたい）が紹介された。同じく東京大学の竹尾氏からは X-FEL の準単色光を利用した結像顕微鏡のコンデンサと対物としての利用が報告された。こちら素子がアクロマートであることを利用し、回折格子を置くことで 100 fs 以下の時分割シングルショット分光イメージングが可能であり、細胞の

元素分布タイムラプス観測、爆発や化学反応の分光スナップショットへの利用が検討されている。

Sigray の W. Yun 氏からは、キャピラリー開発の最新情報が報告された。ラボ X 線源が商品である Sigray のミッションとして、キャピラリーを用いることで放射光レベルの X 線を実験室或いは工場に提供するとしている。放物面キャピラリーを使って、光源の発散光を一旦平行化、もう一つ別の放物面キャピラリーを使って X 線を集光、透過/XRF 結像顕微鏡、コンフォーカル XRF の照明に用いる構想が発表された。2 つのキャピラリーを使っても全体の効率 は 70% を維持し、スポットサイズは 4 μm 以下とのことである。

4. 手法関連

手法としては、coherent diffraction imaging (CDI) やタイコグラフィといったレンズレスの高分解能イメージングが応用も含めここ 10 余年で急激にトピックを増やしてきており、今回もメインのテーマとして扱った発表だけで 10 件を数えた。東北大学の高橋氏は、招待講演で分光タイコグラフィの現状を紹介し、Ce の L 端近傍の詳細な 4 次元（3 次元+XANES）イメージングが示されていた。CDI は基本的に孤立試料しか取り扱えないという測定上の制限があるが、三角形など対称性の低い形状の開口をもつスリットで照射領域を制限することによって、拡張（孤立してない）試料であってもシングルショット CDI が可能であることが示された。講演の後半では、愛称が決まったばかりの次世代 3 GeV 放射光施設「NanoTerasu」が紹介された。

兵庫県立大学の高山氏からは、マルチショット CDI 動的イメージングが報告された。試料の XY スキャンによる境界条件取得によって拡張試料の広視野 CDI 計測を可能にしたのがタイコグラフィであるのに対して、この手法は時間的なスキャンで得た情報を境界条件とすることで、拡張試料の動的 CDI 計測を可能にする。溶液中金コロイド粒子のブラウン運動の様子を 100 fps で計測した例が紹介された。

CDI やタイコグラフィの利用に関する発表を見ていく気付くのは、分光、特に利用例として触媒のその場合分光イメージングの利用報告が多いことだ。分光イメージングは利用エネルギーが吸収端近傍に限られ

ることが多く、それによって試料サイズが限定されるため実は応用が難しい側面がある(たとえば鉄の吸収端を観るには試料厚みが数 μm 以下でないといふ X 線が透過しない。しかもそのスケールの物体のイメージングには数十 nm レベルの空間分解能が必要)。一方、触媒のような概ね微小で且つ化学状態の追跡が重要なテーマの試料の計測には分光 CDI やタイコグラフィと特に相性が良いということだろう。

結像ベースの X 線顕微鏡のトピックについても触れておきたい。PSI の A. Bonnin 氏からは TOMCAT ビームラインの X 線顕微鏡の最新情報と将来プランが紹介された。この施設は放射光 X 線 CT の世界の動向を探る上でキャッチアップが欠かせない一つであり、さらに、人材育成の面でも、後述する WMI 賞受賞者を毎回のように輩出する等、目をみはる成果を出し続けている。話は X 線結像顕微 CT についてが中心であった。空間分解能は 200–300 nm と他の報告と比べるとかなり控えめであるが、むやみに空間分解能を追わず利用に徹している。セットアップや利用している光学素子、様々なスペックから、ユーザー利用やその場観察を重視した思想の端々まで、我々が SPring-8 で展開している X 線ナノ CT のそれと共通点が非常に多かった。どちらかが真似をしているというわけではないのだが、突き詰めていった結果同じようなモノになった、ということであろう。将来プランの一つとしては、フレネルレンズベースのコンデンサを開発しているとのことであった。また、別の発表で PSI の A. Menzel 氏によって紹介されていた結像光学系のセットアップを使ったフォーリエタイコグラフィを今後の高分解能化ツールとして利用するとのことであった。これは、通常の結像光学系をそのまま利用するのだが、対物素子をスキャンすることで実質的な NA を広げ、超解像が可能とのことであった。通常のゼルニケ位相コントラスト法と比較して、20 倍照射ダメージを抑えられるとのことであったが現状では測定時間が 25 倍必要らしい。

個人的に印象深かったのは Göttingen 大学の J. Soltau 氏による、FZP を使ったレンズベース CDI の話である。回折素子の一種である FZP 光学系では、通常 1 次回折光がイメージングに利用され、それ以外の回折光は不要なものとして遮蔽される。彼は、この

不要な回折次数(ここでは 0 次と -1 次)を積極利用し位相回復イメージングができることを示した。例えば、結像光学系において 1 次回折光は吸収コントラスト像を形成し位相情報は消滅するが、-1 次回折光は拡大ホログラムとして位相情報を保持しているため、この両者を使えば位相回復イメージングが可能というアイデアは以前からあった。ところが彼は 0 次光をも CDI 信号として利用し、更には 1 次光、-1 次光を単に異なるフレネルナンバーのホログラムとして使うことで位相回復ができることを示した。もはや結像でもないため、試料を物体面に置く必要もなく、FZP 近くに置く (NA が大きくなる) ことで超解像ができるメリットがある。彼は後述の 2022 年 WMI 賞にノミネートされていた。残念ながら受賞とはならなかったが、非常に面白いアイデアと感じた。

5. おわりに

Closing session では、次回 2024 年の XRM 開催地スウェーデンの Lund、次次回 2026 年の開催地ブラジルサンパウロ郊外の Campinas についての紹介プレゼンがあった。次次回の開催地は毎回、会議中に複数の立候補地のプレゼンがありその中から参加者の投票で決定されるが、今回の立候補は 1 組だけであり、自動的に Campinas が選ばれた形だ。

本学会の若手発表賞である Werner Meyer-Ilse (WMI) 賞とポスター賞の発表があった。ポスター賞は今回新たに設置され、各受賞者には 500USD が贈られる。4 名の受賞があり、その中では大阪大学の伊藤氏が“XFEL sub-10 nm focusing system based on X-ray imaging mirrors”という内容で受賞した。SACLA からの X 線の集光に Wolter III 型(後述)配置の AKB ミラーを用いることで大きな縮小率、高効率、高安定性を実現し、スポット幅 $7 \text{ nm} \times 7 \text{ nm}$ 、強度 $1.21 \times 10^{22} \text{ W/cm}^2$ を得たとの報告である。この場をお借りして祝意を表したい。一方、WMI 賞は口頭発表に対する賞である。少し説明すると、1999 年バークレイ開催の XRM 直前に、同会議の co-chair であった Werner Meyer-Ilse 氏が交通事故で亡くなるという不幸な出来事があった。同氏を偲び、X 線顕微鏡の発展に貢献する将来ある若手への賞として同会議にて直ちに本賞が設立された。受賞資格は学会開催までに PhD

取得2年以内の若手研究者となっており、推薦を受けた候補者の中から毎回1名或いは2名が選ばれる。受賞者には記念メダル並びに2000USDが贈られる。これまでの受賞者を見ると、J. Miao, D. Weiss, M. Feser, P. Thibault など錚々たる名前が連なり、20年余と歴史はまだ浅いながらもX線顕微イメージングに携わる若手研究者の登竜門として非常に権威のある賞となっている。惜しむらくは、日本人はこれまで、毎回のように候補者が出るもののまだ受賞者がいなかった。とはいえ、受賞者と候補者達の間には優劣の差は殆ど無く、ノミネートされるだけでも研究者としては相当な名誉と言えるだろう。2020年開催が延期された今回は、2020年度、2022年度それぞれのWMI賞が選考された。2022年度はAPSのY. Luo氏とSLSのJ. Kim氏が受賞した。前者は、次世代ペロブスカイト太陽電池の評価のために開発したmulti dimensional 走査型X線顕微鏡(吸収、XRF、XRD、XBIC、XEOLの5次元!)についてであった。後者は、無数の同心円状パターンが並んだグレーティングを利用した時分割散乱テンソルCTの研究についてであり、ポリマー材料等に掛けたテンションのベクトルを3次元で捉えていた。両受賞者に言えることは、2章で述べたように多次元の非常に多くの情報量が詰め込まれた鮮明なカラー画像を示していたことである。そして、2020年度のWMI賞は、大阪大学の山田氏が単独での受賞となった(図2)。アジア出身の研究者として初の快挙であり、X線顕微

イメージングに関わる日本人研究者としては、長年の悲願達成である。受賞内容は、Wolter III型とI型を組み合わせたAKBミラー光学系を使ったX線結像顕微鏡の研究についてである。従来のAKBは一体型が製作しやすいWolter I型配置と呼ばれる2つの反射面が同じ向きの配置が取られるが、これは主平面が2つの反射面の間に存在するため、使うミラーの大きさや必要な拡大率を考えるとどうしても装置が大型化するという問題があった。山田氏は、2つの反射面が対向するWolter III型と呼ばれる配置にすれば、主平面が2つのミラーの外に出てコンパクトな設計でも十分な拡大率が得られることを見出した。それだけでなく、2枚の反射面を一体型に成形できない等のこの手法独自の課題点を自ら解決し、デザイン、製造、調整方法全てを実用化まで漕ぎ着けた。もちろん、こういったアイデアは、大阪大学山内研で鍛えられた超高精度X線ミラー製作の技術力が備わって始めて実現されたものであることも付け加えておく。受賞をこの場をお借りして、改めて祝意を表したい。と同時に、今も世界のX線イメージングを牽引する錚々たる歴代受賞者達の中に、自分の名前が連なった意味を噛み締め、今後なお一層のご活躍を期待したい。…と、そんな発破掛けも彼には余計なお世話だったかも知れない。以下は受賞直後の彼の受賞コメントである(一部抜粋)“I know this award has been given to world-famous scientists, so I'm feeling somewhat pressure. I'll keep working harder and harder. … hope I'll continuously contribute to this research field.”第二、第三の山田氏がまたすぐに出てくることを祈って、この報告書の締めとしたい。

…ただ、唯一悔やまれるのが、もし、現地開催だったなら、きっと当日は大宴会だったのになあということ。オンライン開催の弊害がこんな所にも。次からはまたin-personな開催に戻ることを切に祈って。

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

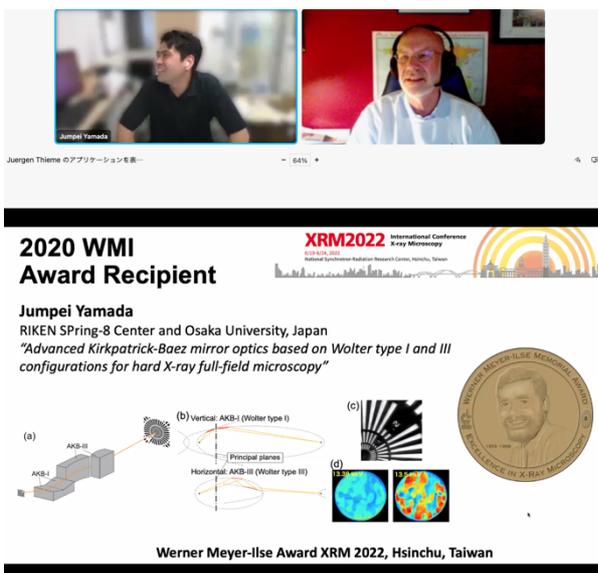


図2 山田氏(左上)のWMI授賞式の様子。右上はAward Committee ChairのJ. Thieme氏。

第 22 回 SPring-8 夏の学校を終えて

SPring-8 夏の学校実行委員会
委員長 八木 直人 (JASRI)

夏の学校の概要

「第 22 回 SPring-8 夏の学校」は 2022 年 7 月 10 日 (日) ~7 月 13 日 (水) の 4 日間の日程で、全国 23 校から 77 名の学生の参加を得て、放射光普及棟および 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 ((公財) 高輝度光科学研究センター (JASRI)、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・関西光科学研究所) 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)、および 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 (東京大学シンクロトン放射光連携研究機構、大阪大学未来戦略光科学連携センター・蛋白質研究所・核物理研究センター) 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 講座、2 日目に 4 講座の講義を行い、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 22 回 SPring-8 夏の学校 日程表 - 2022 年 7 月 10 日 (日) ~13 日 (水)

	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
7/10 (日)	受付 9:30-10:30	開校式 10:30-11:20	講義 1 放射光普及の歴史 正木 尚博 (JASRI)	昼食 11:20-12:30	講義 2 ビームライン 〜光電子顕微鏡システムをテーマに〜 松本 秀雄 (JASRI)	休憩 12:30-14:00	講義 3 X線結晶学の基礎 上村 健太郎 (JASRI)	休憩 14:15-15:45	伊藤 啓司 自己紹介 15:00-17:30	夕食 18:30-		
7/11 (月)	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)	SACLA 見学 10:40-11:30	昼食 11:20-12:30	講義 5 X線ビームライン 尾崎 成 (兵庫県立大学)	休憩 12:30-14:00	講義 6 自由電子レーザー構造解析への応用 藤原 明比古 (関西学院大学)	休憩 14:15-15:45	講義 7 XAS の基礎 伊藤 啓司 (JASRI)	15:00-17:30	夕食 17:30-18:30	SPring-8 実験ホール見学 18:30-20:30	
7/12 (火)				実験 1 9:30-17:00				実験 2 SPring-8 蓄積リング (放射光普及棟) 見学 17:00-18:30		夕食 18:30-		
7/13 (水)				実験 2 9:30-17:00								

ビームライン実習について

実習は21 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））
- 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・山田大貴・廣井慧（JASRI））
- BL07LSU タイコグラフィによる軟X線顕微イメージング（木村隆志・松田巖・原田慈久（東京大学））
- 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（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））
- BL14B2 XAFS分析の基礎（大淵博宣・渡辺剛・本間徹生（JASRI）・佐藤眞直（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（JASRI）・佐藤眞直（JASRI／岡山大学））
- BL23SU 放射光光電子分光法による物質の電子状態分析（芝田悟朗・角田一樹・藤森伸一（JAEA））
- BL25SU 軟X線光電子分光と光電子ホログラフィー（松下智裕・橋本由介（奈良先端科学技術大学院大学）・小谷佳範（JASRI））
- BL31LEP GeV光ビームの生成と粒子・反粒子対の測定（與曾井優（大阪大学）・村松憲仁・時安敦史・松村裕二（東北大学））
- BL39XU 高エネルギー分解能蛍光X線検出X線吸収分光法による電子状態解析（河村直己・東晃太郎（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・河村高志・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 全散乱法による材料構造解析（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（JASRI）・佐藤眞直（JASRI／岡山大学））

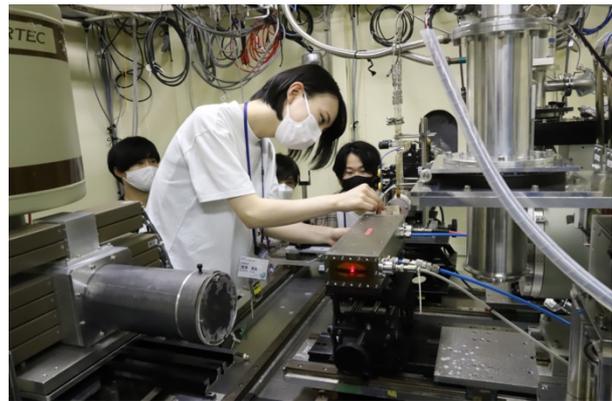


図2 実習風景

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実施しておらず、夏の学校の重要な目的の一つである参加者間の交流は大きく制限されています。とはいえ、感染防止のためマスクを着用し、距離をあけての夏の学校であっても、終了後のアンケートの回答を見ると参加者同士でコミュニケーションをとる機会はあったようですし、実習担当者との会話でも多くの刺激を受けているようでした。

昨年から、5月から6月にかけてSPring-8/SACLA先端利用セミナー基礎編として、毎週1時間のX線に関するオンラインセミナーを行い、参加者に視聴するよう勧めています。多くの参加者にとって、基礎物

理学を完全に理解するのは難しかったようですが、夏の学校の講義や実習を理解するための手助けになったようです。

謝辞

新型コロナウイルスの感染が収まらない中で、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して頂いた 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。

八木 直人 YAGI Naoto

(公財) 高輝度光科学研究センター
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-2750
e-mail : yagi@spring8.or.jp

第 22 回 SPring-8 夏の学校に参加して

東北大学大学院 農学研究科
堀井 菜摘

私は現在、環境有害物質が生体に与える影響解析の研究を行っております。普段は生化学的手法を用いて実験をしておりますが、今後生体内の環境有害物質の局在を解析するために放射光を利用する実験計画を立てております。そこで、講義や実習を通して放射光に関わる知識を学び、実験のイメージを掴むために夏の学校に参加いたしました。

1、2日目は放射光に関する基礎講義を受けました。私は大学ではおろか、高校物理でさえまともに触れてこなかったため、夏の学校に参加したものの内容を理

解できるか最初は不安を感じていました。しかし、「SPring-8/SACLA 先端利用セミナー基礎編」としてオンラインセミナーを事前に配信していただいたので、聴講して基礎知識を頭に入れてから講義に臨んだところ、原理から理解することができました。事前知識のおかげだけではなく、先生方の講義には学生が理解しやすいように説明やスライドに多くの工夫がされており、理解の助けになっていると感じました。特に X 線イメージングの講義では、生物試料を用いた研究の説明や CT、元素分析のお話を聞くことができ、自分の研究と直結する知識を得ることができました。今後自分で実験をデザインする際には原理の部分から放射光を理解している必要があるため、ラボ内でも知識の共有を行なっていきたいと思えます。

3、4日目は少人数に分かれて、ビームライン実習を行いました。事前に興味のある実習についてのアンケートがあったため、自分が希望した実習を行うことができました。一つ目の実習は BL19B2 で粉末 X 線回折実習を行いました。試料の準備やセットの仕方など、今後自分が行う予定の実験に似ていたため、作業のイメージを掴むことができました。得られたデータを実際にどのように解析していくのか、講義も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。二つ目の実習は BL07LSU でタイコグラフィによる軟 X 線顕微イメージングの実習を行いました。普段プログラミングに触れていないため解析に苦労しましたが、実習担当の先生方に分かりやすく教えていただきました。今後は自分の解析のためにも勉強していこうと強く思っております。また、新たな軟 X 線顕微鏡の開発についてお話を聞いたり、軟 X 線を用いた生体試料の研究例などを紹介していただけたりと、貴重なお話を伺うことができました。

講義や実習に加えて、2日目には SACLA と SPring-8 ビームラインの見学、3日目には SPring-8 蓄積リングの見学を行いました。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。特に蓄積リングの見学では、電子ビームが周回する装置を見ることができ、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。見学の移動の際には他の参加者と自分の研究を紹介し合ったり、進路などを話したりと、様々な刺激を

受けて今後のモチベーションにも繋がりました。

今まで生命科学分野にしか触れる機会が無かったのですが、こうして全く異なる分野に触れることで研究の幅が広がったように思います。見ること聞くこと全てが新鮮でとても楽しかったです。今後は分野の垣根を越えて学際的な研究を推進していくため、夏の学校で得た知識や経験を生かして参ります。

最後になりますが、第22回SPring-8夏の学校を運営していただいた皆様、講師の先生方、チームライン実習担当者の皆様、関わっていただいた皆様へ心よりお礼申し上げます。ありがとうございました。

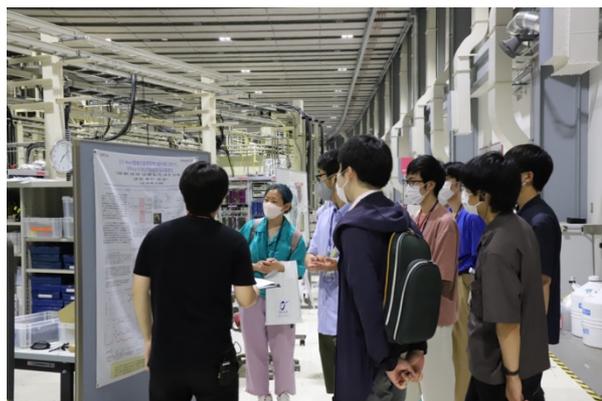


図3 見学風景



図4 記念写真

2023A 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

2023A 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：2022 年 9 月下旬

応募締切：2022 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 (<http://sacla.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、新型コロナウイルス感染症の関連研究を支援するための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 FAX : 0791-58-0965
e-mail : sacla.jasri@spring8.or.jp

2023A 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

2023A 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、2021A 期より開始しました。

募集開始：2022 年 9 月下旬

応募締切：2022 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 FAX : 0791-58-0965
e-mail : sacla.jasri@spring8.or.jp

2022B 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 21 期目に当たる 2022B 期（2022 年 10 月～2023 年 2 月）の利用研究課題応募 70 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 47 課題を採択しました。

1. 募集、審査及び採択等の日程

2022B 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。

(2022 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 13 日 第 23 回 SACLA PRC（総合審査）

7 月 26 日 第 26 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 11 日 2022B 期利用開始予定

2. 応募、採択及びビームタイム配分状況

2022B 期の応募課題数は 70、採択課題数は 47 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 47 課題に対しビームタイムは計 244 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 47 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 > 2022B

http://sacla.xfel.jp/wp-content/uploads/sacla_approved_proposal_2022b_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		国公立試験 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			3	3	4	2	4	2	11	7	67%
BL2/BL3	1	1	27	19	10	8	21	12	59	40	
合計	1	1	30	22	14	10	25	14	70	47	

表 2

(単位：シフト数)

課題種	A	B	C	C/A	C/B
	応募課題 (70 課題) の 全要求シフト数	採択課題 (47 課題) の 全要求シフト数	採択課題 (47 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)	423.5	290	244	58%	84%
一般課題 (成果専有)	-	-	-	-	-
合計	423.5	290	244	58%	84%

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

2018A 期 採択長期利用課題の事後評価について - 4 -

公益財団法人高輝度光科学研究センター
利用推進部

2018A 期に採択された長期利用課題について、2019B 期に 2 年間の実施期間が終了したことを受け、第 69、70 回 SPring-8 利用研究課題審査委員会長期利用分科会（2021 年 6 月 22 日、30 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、2018A 期に採択された長期利用課題 8 課題のうち 7 課題の評価結果は、「SPring-8/SACLA 利用者情報」Vol.26 No.2・No.3・No.4（2021 年春号・夏号・秋号）に掲載済みです。

課題名	ゲノム編集ツール CRISPR-Cas ヌクレアーゼの構造解析
実験責任者(所属)	濡木 理 (東京大学)
採択時課題番号	2018A0153
ビームライン	BL41XU
利用期間/実施総シフト	2018A~2019B/16 シフト

[評価結果]

本長期利用課題では、遺伝子工学や遺伝子医療において今後中心的な役割を担うと考えられているゲノム編集技術の中心的な役割を担う酵素である CRISPR-Cas ヌクレアーゼの結晶構造解析が実施された。本酵素を高度なツールとして実用化していくためには、小型でかつ標的となる塩基配列（以下、PAM と称する）の任意性を有する酵素が求められている。このため、その構造情報から酵素機能を理解するとともに、新たな機能の創出を目指した。具体的には、多種の酵素の PAM 認識機構を明らかにするため、3 種の酵素の構造を決定し、認識残基を解明するとともに、

これらの変異体を作成して PAM の任意性を高める機能改変に成功した。さらに、別のカテゴリーに属する酵素 1 種についても、構造の解明に成功し、酵素の作動機構の多様性を明らかにした。

これらの成果は現時点でいずれも基礎研究の段階にあるが、さらなる発展により生物学分野への大きな波及効果が期待できる。ゲノム編集技術の開発は競争の激しい研究領域であるが、こうした状況下、2 年間で目標を十分に達成して、論文や講演での成果発表や各種メディアでの情報発信を行うとともに、さらには本技術に基づくベンチャー企業の上場にもつながっている。

以上の通り、各項目において十分な進捗が認められ、本長期利用課題の実施は成果創出に意義があったと認められる。

[成果リスト]

(査読付き論文)

- [1] SPring-8 publication ID = 42833
S. Yamaguchi *et al.*: “Crystal Structure of *Drosophila* Piwi” *Nature Communications* **11** (2020) 858.
- [2] SPring-8 publication ID = 42834
S. Hirano *et al.*: “Structural Basis for the Promiscuous PAM Recognition by *Corynebacterium diphtheriae* Cas9” *Nature Communications* **10** (2019) 1968.
- [3] SPring-8 publication ID = 42835
S. Akichika *et al.*: “Cap-specific Terminal *N*⁶-methylation of RNA by an RNA Polymerase II-associated Methyltransferase” *Science* **363** (2019) eaav0080.
- [4] SPring-8 publication ID = 42836
H. Nishimasu *et al.*: “Engineered CRISPR-Cas9 Nuclease with Expanded Targeting Space” *Science* **361** (2018) 1259-1262.

2019A 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

2019A 期に採択された長期利用課題について、2021A 期に 2 年間の実施期間が終了したことを受け、第 69 回 SPring-8 利用研究課題審査委員会長期利用分科会（2021 年 6 月 22 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、2019A 期に採択された長期利用課題 3 課題のうち 1 課題の評価結果は 2022 春号に掲載、もう 1 課題の評価結果は次号以降に掲載する予定です。

課題名	はやぶさ 2 サンプルの X 線 CT を用いた初期分析: 技術開発、分析手法評価と分析
実験責任者(所属)	土山 明 (立命館大学)
採択時課題番号	2019A0165, 2019A0166
ビームライン	BL20XU, BL47XU
利用期間/配分総シフト	2019A~2021A/168 シフト

[評価結果]

本長期利用課題は、2014 年 12 月に打ち上げられたはやぶさ 2 探査機により小惑星リュウグウから回収される試料の初期分析およびそれに備えた準備を行う目的で実施されたものである。期間前半では、初期分析の準備として、非破壊 X 線 CT や試料の取り扱い方法、迅速なデータ解析法などの技術開発が進められるとともに、模擬物質を用いたリハーサルが行われた。その後、2020 年 12 月に試料が地球に届けられたことを受けて、配分された実際のはやぶさ 2 試料に対し、それらの開発された手法が適用された。

リュウグウからの試料の分析は現在もなお進行中

であるが、小惑星リュウグウの成因を説明する新しい太陽系形成論を支持する結果が得られるなど、大きな成果が生まれつつある。それに加え、事前準備の段階で得られた高分解能広視野 CT や走査・結像 X 線 CT (SIXM) などの手法や解析技術の開発は、それ自体が重要な成果であるとともに、地上由来の物質による試料汚染を防止するために開発された大気遮断分析システムは、燃料電池のような嫌気性試料の分析など、他分野への波及効果も期待できる。さらに、リハーサルとして実施した炭素質コンドライト模擬試料の計測においても、一定の学術的な成果を挙げ、論文発表に至っている。このように、はやぶさ 2 探査機の試料評価への準備が前半 2 年間でほぼ達成され、本番のはやぶさ 2 試料の分析にも成功したと評価される。このような一連の成果は、明確な研究目的がユーザー側と施設側で共有されたことによって可能になったものであると考えられる。

以上のことから、本課題は、小惑星の成因や進化の理解につながる学術的成果が得られているとともに、基礎的研究分野及び基盤的技術開発分野への大きな貢献もなされており、長期利用課題として期待通りの成果を挙げたものと判断される。

[成果リスト]

(査読付き論文)

[1] SPring-8 publication ID = 39568

M. Matsumoto *et al.*: “Discovery of Fossil Asteroidal Ice in Primitive Meteorite Acfer 094” *Science Advances* **5** (2019) eaax5078.

[2] SPring-8 publication ID = 39585

M. Uesugi *et al.*: “Development of a Sample Holder for Synchrotron Radiation-based Computed Tomography and Diffraction Analysis of Extraterrestrial Materials” *Review of Scientific Instruments* **91** (2020) 035107.

[3] SPring-8 publication ID = 41954

A. Tsuchiyama *et al.*: “Discovery of Primitive CO₂-bearing Fluid in an Aqueously Altered Carbonaceous Chondrite” *Science Advances* **7** (2021) eabg9707.

[4] SPring-8 publication ID = 41955

Z. Dionnet *et al.*: “Combining IR and X-ray Microtomography Data Sets: Application to Itokawa Particles and to Paris Meteorite” *Meteoritics and Planetary Science* **55** (2020) 1645-1664.

[5] SPring-8 publication ID = 43233

M. Matsumoto *et al.*: “Three-dimensional Microstructure and Mineralogy of a Cosmic Symplectite in the Acfer 094 Carbonaceous Chondrite: Implication for its Origin” *Geochimica et Cosmochimica Acta* **323** (2022) 220-241.

[6] SPring-8 publication ID = 43847

T. Noguchi *et al.*: “Mineralogy of Fine-grained Matrix, Fine-grained Rim, Chondrule Rim, and Altered Mesostasis of a Chondrule in Asuka 12169, One of the Least Altered CM Chondrites” *Polar Science* **29** (2021) 100727.

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

◎2022 年 4 月の運転実績

SPring-8 は 4 月 6 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 サイクルではバンブ電磁石 4 の誤爆によるビームアボート等があったが、全体としては順調な運転であった。総放射光利用運転時間（ユーザータイム）内での故障等による停止時間（down time）は、第 1 サイクルは約 1.6%であった。

1. 装置運転関係

(1) 運転期間

第 1 サイクル (4/6 (水) ~4/28 (木))

(2) 運転時間の内訳

第 1 サイクル

運転時間総計 約 528 時間

①装置の調整およびマシンスタディ等 約 144 時間

②放射光利用運転時間 約 377 時間

③故障等による down time 約 6 時間

④フィリング変更時間 約 0.5 時間

総放射光利用運転時間（ユーザータイム = ② +

③ + ④）に対する down time の割合（*1）約 1.6%

(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)

・ 4 bunch train × 84 (B)

・ 入射は電流値優先モード（2~3 分毎（マルチバンチ時）もしくは 20~40 秒毎（セベラルバンチ時）の SACLA 入射、Top-Up モードで実施。

・ 蓄積電流 8 GeV、~100 mA

(4) 主な down time の原因

- ・ バンブ電磁石 4 の誤爆によるアボート
- ・ ID17 補正電磁石電源故障によるアボート

2. 利用関係（JASRI 利用推進部 集計）

(1) 放射光利用実験期間

第 1 サイクル (4/11 (月) ~4/27 (水))

(2) ビームライン利用状況

稼働ビームライン

共用ビームライン 26 本

専用ビームライン 16 本

理研ビームライン 14 本

第 1 サイクル（暫定値）

共同利用研究実験数 193 件

共同利用研究者数 726 名

専用施設利用研究実験数 140 件

専用施設利用研究者数 323 名

◎2022 年 4~5 月の運転実績（停止期間）

SPring-8 は 4 月 29 日から 5 月 7 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 (5/6~)

・ バンブ電源不具合調査

・ AB3 真空調査（セル 11）

・ オンラインデータベーススクリーンアップ

- ・ ID トラッカー測定 (セル 23)
 - ・ FE IG1,3,4 フィラメント交換 (BL17SU)
 - ・ FE 駆動系機器動作試験 (BL01B1~BL07LSU)
 - ・ 光学系・輸送チャンネル関連作業
- (2) ユーティリティ関係
- ・ 天井クレーン月次・年次点検作業
- (3) 安全管理関係
- ・ 運転停止後の残留サーバイ
- (4) その他
- ・ 停止期間中の節電対策

◎2022 年 5~7 月の運転実績

SPring-8 は 5 月 8 日から 7 月 8 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、停止期間をはさみ、7 月 11 日から 8 月 3 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 4 日から 10 月 1 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 6 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 (2022年6月30日現在)

SPring-8

Beamline Name		Public Use Since	~2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Total	
Public Beamlines	BL01B1	XAFS I	1997.10	556	74	92	75	87	94	82	86	105	83	33	1367
		Technical Journal		1											1
	BL02B1	Single Crystal Structure Analysis	1997.10	170	36	42	36	44	40	30	48	51	52	14	563
	BL02B2	Powder Diffraction	1999.9	646	96	71	82	95	80	74	79	109	72	38	1442
	BL04B1	High Temperature and High Pressure Research	1997.10	212	20	19	16	16	15	17	19	13	11	7	365
	BL04B2	High Energy X-ray Diffraction	1999.9	245	28	33	38	43	30	42	39	59	31	27	615
		Technical Journal			1							1			2
	BL08W	High Energy Inelastic Scattering	1997.10	167	15	13	19	16	16	14	10	18	25	10	323
	BL09XU	HAXPES I	1997.10	136	15	15	18	16	19	28	14	11	14	6	292
	BL10XU	High Pressure Research	1997.10	355	21	30	28	30	28	26	33	33	23	16	623
	BL13XU	X-ray Diffraction and Scattering I	2001.9	172	16	21	24	36	27	32	34	31	24	12	429
	BL14B2	XAFS II	2007.9	111	53	53	61	53	58	67	81	87	68	24	716
		Technical Journal		1	1	1						1	3		7
	BL19B2	X-ray Diffraction and Scattering II	2001.11	231	59	63	66	64	69	60	57	59	57	15	800
		Technical Journal		1	1	1	2			2	1	1			9
	BL20B2	Medical and Imaging I	1999.9	241	28	25	35	26	28	32	28	40	22	15	520
	BL20XU	Medical and Imaging II	2001.9	185	40	45	44	37	34	31	44	33	38	10	541
	BL25SU	Soft X-ray Spectroscopy of Solid	1998.4	329	24	32	20	19	25	20	24	30	22	14	559
		Technical Journal		2											2
	BL27SU	Soft X-ray Photochemistry	1998.5	331	41	35	25	36	27	26	16	41	17	4	599
	BL28B2	White Beam X-ray Diffraction	1999.9	121	21	18	21	19	25	20	15	26	14	7	307
	BL35XU	Inelastic and Nuclear Resonant Scattering	2001.9	95	14	13	16	15	15	14	8	21	17	4	232
	BL37XU	Trace Element Analysis	2002.11	133	32	28	35	29	29	29	24	33	19	9	400
		Technical Journal				1									1
	BL38B1	Structural Biology III	2000.10	469	59	48	65	60	38	30	31	29	27	8	864
	BL39XU	Magnetic Materials	1997.10	213	20	25	19	24	30	20	19	29	20	4	423
	BL40B2	SAXS BM	1999.9	425	70	55	55	60	54	55	63	53	64	36	990
		Technical Journal			1		1					1			3
	BL40XU	High Flux	2000.4	120	37	21	32	42	30	35	50	30	35	17	449
		Technical Journal									1				1
BL41XU	Macromolecular Crystallography I	1997.10	783	65	55	60	68	58	51	41	46	31	7	1265	
BL43IR	Infrared Materials Science	2000.4	88	10	11	17	14	23	10	21	29	21	10	254	
BL46XU	HAXPES II	2000.11	137	38	28	56	51	50	45	55	42	57	15	574	
	Technical Journal						1	1			1			3	
BL47XU	Micro-CT	1997.10	275	36	36	31	29	37	28	33	33	21	10	569	
	Technical Journal							1						1	
Public Use at Other Beamlines	BL05XU	R&D-ID	2017.4							3	7	9	8	2	29
	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	21	11	12	5	2	3	5	8	6	4	1	78
	BL19LXU	RIKEN SR Physics	2002.9	5		1	1	2	5	7	2	3	8		34
	BL22XU	JAEA Actinide Science I (2004.9 - 2012.2)		5	1										6
	BL23SU	JAEA Actinide Science II (1998.6 - 2012.2)		48	3	2						1	1		55
	BL26B1	RIKEN Structural Genomics I	2009.4	11	2	9	6	15	15	24	30	32	21	10	175
	BL26B2	RIKEN Structural Genomics II	2009.4	7	3	5	7	11	8	9	9	6	1	3	69
		Technical Journal						1							1
	BL29XU	RIKEN Coherent X-ray Optics	2002.9	13		1	1	2	2	3		1			23
	BL32XU	RIKEN Targeted Proteins	2010.10	10	8	9	16	8	16	16	13	13	6	1	116
	BL43LXU	Quantum NanoDynamics	2020.8											1	1
	BL44B2	RIKEN Materials Science I	1998.5	14				6	5	2	6	4	1		38
BL45XU	RIKEN Structural Biology I	1997.10	99	7	9	13	20	10	6	15	19	22	7	227	
Subtotal				7273	1003	977	1043	1095	1043	993	1062	1185	957	397	17028

Beamline Name		Public Use Since	~2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Total	
Contract Beamlines	BL03XU	Advanced Softmaterial	2009.11	14	24	21	14	17	23	9	19	20	12	4	177
		Technical Journal		35	42	39	36	33	31	28	28	34	24		330
	BL07LSU	The University-of-Tokyo Outstation Beamline for Materials Science	2009.11	12	10	13	12	19	19	15	21	13	13	7	154
		Technical Journal									1				1
	BL08B2	Hyogo BM	2005.9	5	7	9	5	6	11	5	7	11	10	5	81
		Technical Journal		7	1	18	7	4	4	1	3		1	1	47
	BL11XU	QST Quantum Dynamics I		95	16	14	8	20	20	15	20	14	19	7	248
	BL12B2	NSRRC BM	2001.9	169	22	21	29	38	34	37	34	18	15	5	422
	BL12XU	NSRRC ID	2003.2	70	11	18	19	18	25	19	24	24	9	6	243
	BL14B1	QST Quantum Dynamics II		138	10	15	19	17	23	20	21	26	28	16	333
	BL15XU	WEBRAM (2001.4 - 2021.9)		240	61	57	48	63	57	54	48	55	33	14	730
	BL16B2	SUNBEAM BM	1999.9	55	3	6	4	10	9	6	10	12	21	11	147
		Technical Journal		20	15	14	8	15	21	15	10	8	4	4	134
	BL16XU	SUNBEAM ID	1999.9	42	2	3	4	11	9	9	17	20	22	13	152
		Technical Journal		20	19	14	14	21	18	12	8	9	5	4	144
	BL22XU	JAEA Actinide Science I		81	14	19	15	14	15	26	24	18	27	12	265
		Technical Journal												1	1
	BL23SU	JAEA Actinide Science II		195	17	29	19	26	16	24	23	28	19	12	408
	BL24XU	Hyogo ID	1998.10	145	8	5	4	5	6	8	2	13	12	5	213
		Technical Journal		11	3	10	3	1	4		1	1	1		35
BL28XU	Advanced Batteries	2012.4		3	9	5	5	6	4	8	11	7	3	61	
	Technical Journal										1			1	
BL31LEP	Laser-Electron Photon II	2013.10			1		3	2	1	3	2			12	
BL32B2	Pharmaceutical Industry (2002.9 - 2012.3)		27			1					1			29	
BL33LEP	Laser-Electron Photon	2000.10	51	4	4	2	2	3	5	2				73	
BL33XU	TOYOTA	2009.5	8	2	8	4	10	16	6	9	19	17	6	105	
	Technical Journal		7	4	5	3	4	1						24	
BL36XU	Catalytic Reaction Dynamics for Fuel Cell (2013.1 - 2020.3)			1	7	6	7	12	15	8	10	4	5	75	
BL44XU	Macromolecular Assemblies	2000.2	336	59	50	65	54	61	47	52	58	42	16	840	
Subtotal			1683	274	309	283	345	367	325	352	373	310	147	4768	
RIKEN Beamlines	BL05XU	R&D-ID		3	1		1						2	7	
	BL17SU	Coherent Soft X-ray Spectroscopy		87	3	8	5	8	5		1	6	1		124
	BL19LXU	SR Physics		97	12	13	9	5	6	1	4	1	2		150
	BL26B1	Structural Genomics I		174	7	4	5	4	4	1		1			200
	BL26B2	Structural Genomics II		112	13	4	3	7	10	2	2	2			155
	BL29XU	Coherent X-ray Optics		180	15	9	10	15	9	8	4	7	3		260
	BL32XU	Targeted Proteins		11	8	8	7	13	4	3	1	3	3	1	62
	BL38B2	Diagnosis Beamline		2											2
	BL43LXU	Quantum NanoDynamics			1		1	1				2			5
	BL44B2	Materials Science I		234	19	16	20	16	18	14	10	3	2	2	354
	BL45XU	Structural Biology I		200	11	9	13	13	8	5	2	5	3		269
	Subtotal			1100	90	71	74	82	64	34	24	30	14	5	1588

SACLA

Public Beamlines	Beamline Name		Public Use Since	~2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Total
	BL1	SXFEL	2016.3								7	6	9	8	2
BL2/BL3	XFEL2/XFEL1	2012.3	1	13	28	37	48	42	34	49	60	55	25		392
Hardware / Software R & D				545	67	13	33	46	53	49	35	26	15	5	887
NET Sum Total				9039	1202	1105	1194	1291	1268	1141	1217	1313	1073	467	20310
Technical Journal				93	80	97	67	74	71	54	48	50	31	9	674

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。BL15XU、BL32B2、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 2022 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 (2022 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	1368	66	89	1523
	BL02B1	Single Crystal Structure Analysis	1997.10	563	14	32	609
	BL02B2	Powder Diffraction	1999. 9	1442	41	85	1568
	BL04B1	High Temperature and High Pressure Research	1997.10	365	7	48	420
	BL04B2	High Energy X-ray Diffraction	1999. 9	617	13	60	690
	BL08W	High Energy Inelastic Scattering	1997.10	323	10	48	381
	BL09XU	HAXPES I	1997.10	292	15	36	343
	BL10XU	High Pressure Research	1997.10	623	22	61	706
	BL13XU	X-ray Diffraction and Scattering I	2001. 9	429	19	39	487
	BL14B2	XAFS II	2007. 9	723	11	39	773
	BL19B2	X-ray Diffraction and Scattering II	2001.11	809	47	94	950
	BL20B2	Medical and Imaging I	1999. 9	520	90	89	699
	BL20XU	Medical and Imaging II	2001. 9	541	106	151	798
	BL25SU	Soft X-ray Spectroscopy of Solid	1998. 4	561	15	61	637
	BL27SU	Soft X-ray Photochemistry	1998. 5	599	21	39	659
	BL28B2	White Beam X-ray Diffraction	1999. 9	307	17	24	348
	BL35XU	Inelastic and Nuclear Resonant Scattering	2001. 9	232	5	13	250
	BL37XU	Trace Element Analysis	2002.11	401	24	52	477
	BL38B1	Structural Biology III	2000.10	864	11	66	941
	BL39XU	Magnetic Materials	1997.10	423	17	80	520
	BL40B2	SAXS BM	1999. 9	993	15	122	1130
	BL40XU	High Flux	2000. 4	450	24	71	545
	BL41XU	Macromolecular Crystallography I	1997.10	1265	4	101	1370
	BL43IR	Infrared Materials Science	2000. 4	254	15	62	331
	BL46XU	HAXPES II	2000.11	577	20	43	640
	BL47XU	Micro-CT	1997.10	570	93	135	798
Public Use at Other Beamlines	BL05XU	R&D-ID	2017. 4	29			29
	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	78	1	29	108
	BL19LXU	RIKEN SR Physics	2002. 9	34		4	38
	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	175		9	184
	BL26B2	RIKEN Structural Genomics II	2009. 4	70		11	81
	BL29XU	RIKEN Coherent X-ray Optics	2002. 9	23		1	24
	BL32XU	RIKEN Targeted Proteins	2010.10	116		5	121
	BL43LXU	Quantum NanoDynamics	2020. 8	1			1
	BL44B2	RIKEN Materials Science I	1998. 5	38		3	41
	BL45XU	RIKEN Structural Biology I	1997.10	227	5	20	252
Subtotal			17059	774	1857	19690	

Beamline Name		Public Use Since	Refereed Papers	Proceedings	Other Publications	Total	
Contract Beamlines	BL03XU	Advanced Softmaterial	2009.11	507		18	525
	BL07LSU	The University-of-Tokyo Outstation Beamline for Materials Science	2009.11	155		11	166
	BL08B2	Hyogo BM	2005. 9	128			128
	BL11XU	QST Quantum Dynamics I		248	8	44	300
	BL12B2	NSRRC BM	2001. 9	422	1	2	425
	BL12XU	NSRRC ID	2003. 2	243	7	6	256
	BL14B1	QST Quantum Dynamics II		333	16	89	438
	BL15XU	WEBRAM (2001. 4 - 2021. 9)		730	14	60	804
	BL16B2	SUNBEAM BM	1999. 9	281	12	75	368
	BL16XU	SUNBEAM ID	1999. 9	296	8	61	365
	BL22XU	JAEA Actinide Science I		266	4	47	317
	BL23SU	JAEA Actinide Science II		408	45	110	563
	BL24XU	Hyogo ID	1998.10	248	19	62	329
	BL28XU	Advanced Batteries	2012. 4	62			62
	BL31LEP	Laser-Electron Photon II	2013.10	12			12
	BL32B2	Pharmaceutical Industry (2002. 9 - 2012. 3)		29		3	32
	BL33LEP	Laser-Electron Photon	2000.10	73	23	3	99
	BL33XU	TOYOTA	2009. 5	129	5	35	169
	BL36XU	Catalytic Reaction Dynamics for Fuel Cell (2013. 1 - 2020. 3)		75		6	81
	BL44XU	Macromolecular Assemblies	2000. 2	840		45	885
Subtotal			5485	162	677	6324	

RIKEN Beamlines	BL05XU	R&D-ID		7	6		13
	BL17SU	Coherent Soft X-ray Spectroscopy		124	4	13	141
	BL19LXU	SR Physics		150	8	27	185
	BL26B1	Structural Genomics I		200	2	19	221
	BL26B2	Structural Genomics II		155	1	13	169
	BL29XU	Coherent X-ray Optics		260	14	37	311
	BL32XU	Targeted Proteins		62		4	66
	BL38B2	Diagnosis Beamline		2	6		8
	BL43LXU	Quantum NanoDynamics		5			5
	BL44B2	Materials Science I		354	2	16	372
	BL45XU	Structural Biology I		269	5	45	319
	Subtotal			1588	48	174	1810

SACLA

Public Beamlines	Beamline Name		Public Use Since	Refereed Papers	Proceedings	Other Publications	Total
	BL1	SXFEL	2016. 3	32			32
	BL2/BL3	XFEL2/XFEL1	2012. 3	392	4	15	411

Hardware / Software R & D			887	554	472	1913
---------------------------	--	--	-----	-----	-----	------

NET Sum Total			20984	1370	2463	24817
---------------	--	--	-------	------	------	-------

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

NET Sum Total : 実際に登録されている件数(本表に表示していない実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。BL15XU、BL32B2、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、2022 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 2022 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
Physical Review B	12	Acta Crystallographica Section F	4
Scientific Reports	8	Angewandte Chemie International Edition	4
ACS Applied Energy Materials	7	Applied Physics Letters	4
The Journal of Biological Chemistry	7	Chemical Communications	4
ACS Applied Materials & Interfaces	6	Geophysical Research Letters	4
Inorganic Chemistry	6	Journal of the American Chemical Society	4
Journal of Synchrotron Radiation	6	Langmuir	4
Journal of the Physical Society of Japan	6	Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America	4
Physical Review Materials	6		
Nature Communications	5	Protein Science	4
Science Advances	5		

他全 181 誌、計 321 報

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

課題の成果として登録された論文

Physical Review B

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
43293	Shinobu Aoyagi	105 (2022) 024101	2017A1036	BL13XU	青柳 忍	Position and Electric Field Dependent Local Lattice Strain Detected by Nanobeam X-ray Diffraction on a Relaxor Ferroelectric Single Crystal
			2017A1465	BL13XU	青柳 忍	
			2017B1476	BL13XU	青柳 忍	
			2018B1529	BL02B1	青柳 忍	
			2018B1534	BL13XU	青柳 忍	
2019A1308	BL13XU	青柳 忍				
43346	Hirokazu Shimizu	105 (2022) 014442	2019B1248	BL47XU	組頭 広志	Rocksalt-type PrO Epitaxial Thin Film as a Weak Ferromagnetic Kondo Lattice
43347	Kazumichi Namikawa	100 (2019) 184110	2012B3713	BL22XU	大和田 謙二	Mesoscopic Hierarchic Polarization Structure in the Relaxor Ferroelectrics $Pb[(Mg_{1/3}Nb_{2/3})_{1-x}Ti_x]O_3$
43392	Yui Sakaguchi	105 (2022) 155129	2012B1519	BL39XU	池田 修悟	Pressure-induced Changes of Valence Fluctuation in β -YbAlB ₄ Probed by X-ray Absorption Spectroscopy
			2013A1368	BL39XU	小林 寿夫	
			2014A1652	BL39XU	阪口 友雄	
			2012B0046	BL39XU	渡辺 真仁	
43397	Kentaro Ueda	105 (2022) L161102	2021B1261	BL02B1	鬼頭 俊介	Experimental Signatures of a Versatile Weyl Semimetal in a Pyrochlore Iridate with Spin-ice-like Magnetic Orders
43404	Yuji Saitoh	102 (2020) 165152	2016A3832	BL23SU	藤原 秀紀	Insight into Kondo Screening in the Intermediate-valence Compound $SmOs_4Sb_{12}$ Uncovered by Soft X-ray Magnetic Circular Dichroism
43409	D. Yu. Usachov	102 (2020) 205102	2019A3811	BL23SU	藤森 伸一	Photoelectron Diffraction for Probing Valency and Magnetism of 4f-based Materials: A View on Valence-fluctuating $EuIr_2Si_2$
			2019B3811	BL23SU	藤森 伸一	
43446	Flavio Giorgianni	105 (2022) 155147	2017A8021	BL3	Scagnoli Valerio	Melting of Magnetic Order in $NaOsO_3$ by Femtosecond Laser Pulses
43595	Akihiro Ino	105 (2022) 195111	2015A4801	BL15XU	井野 明洋	Direct Observation of the Electronic Structure of the Layered Phosphide Superconductor $ZrP_{2-x}Se_x$
			2015B4800	BL15XU	井野 明洋	
			2016A4800	BL15XU	井野 明洋	
			2017B4801	BL15XU	井野 明洋	
43691	Kenta Takada	105 (2022) 205205	2018B1108	BL35XU	若林 裕助	Phonon Dispersion of the Organic Semiconductor Rubrene
			2019A1147	BL35XU	若林 裕助	
			2020A1783	BL35XU	若林 裕助	
43758	Takahito Takeda	105 (2022) 195155	2017B3841	BL23SU	藤森 淳	Development of Magnetism in Fe-doped Magnetic Semiconductors: Resonant Photoemission and X-ray Magnetic Circular Dichroism Studies of (Ga,Fe)As
			2019A3841	BL23SU	小林 正起	
43851	Andrew Krygier	105 (2022) L220102	2015A8066	BL3	尾崎 典雅	X-ray Diffraction Study of Phase Transformation Dynamics of Fe and Fe-Si Alloys along the Shock Hugoniot using an X-ray Free Electron Laser
			2015B8063	BL3	尾崎 典雅	
			2017A8062	BL3	尾崎 典雅	
			2015A8023	BL3	Harmand Marion	
			2015B8014	BL3	Harmand Marion	

Scientific Reports-1

43522	Motomichi Koyama	11 (2021) 19384	2020A3691	BL14B1	小山 元道	Hydrogenation Treatment under Several Gigapascals Assists Diffusionless Transformation in a Face-Centered Cubic Steel
			2021A3691	BL14B1	小山 元道	
43548	Gaku Okuma	12 (2022) 6994	2020A0521	BL20XU	大熊 学	Morphology of Subsurface Cracks in Glass-ceramics Induced by Vickers Indentation Observed by Synchrotron X-ray Multiscale Tomography
			2020A1603	BL20XU	前田 敬	
43598	Mohammad Riad Kasem	12 (2022) 7789	2020A4269	BL12XU	山岡 人志	Robustness of Superconductivity to External Pressure in High-entropy-alloy-type Metal Telluride $AgInSnPbBiTe_s$
			2021A4253	BL12XU	山岡 人志	
			2021B4254	BL12XU	山岡 人志	
43643	Michael Grimes	12 (2022) 8584	2021A8026	BL3	Scagnoli Valerio	Determination of Sub-ps Lattice Dynamics in FeRh Thin Films
43680	Amane Kobayashi	11 (2021) 3877	2016A8048	BL3	中迫 雅由	Common Architectures in Cyanobacteria <i>Prochlorococcus</i> Cells Visualized by X-ray Diffraction Imaging using X-ray Free Electron Laser
			2016B8064	BL3	中迫 雅由	
			2017A8015	BL3	中迫 雅由	
			2017B8003	BL2	中迫 雅由	
43694	Kosuke Takahashi	12 (2022) 8843	2021A1185	BL20XU	高橋 航圭	X-ray Nanoimaging of a Transversely Embedded Carbon Fiber in Epoxy Matrix under Static and Cyclic Loads
			2020A0655	BL20XU	高橋 航圭	

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
43716	Martin Donnelley	12 (2022) 9000	2019A1151	BL20XU	Donnelley Martin	Improved in-vivo Airway Gene Transfer via Magnetic-guidance, with Protocol Development Informed by Synchrotron Imaging
			2019B1508	BL20XU	Donnelley Martin	
43804	Koutaro Hikosaka	12 (2022) 10000	2017A0072	BL10XU	廣瀬 敬	Melting Phase Relations in Fe-Si-H at High Pressure and Implications for Earth's Inner Core Crystallization

ACS Applied Energy Materials

43291	Takeshi Tojigamori	5 (2022) 1002-1009	2020A7613	BL28XU	安部 武志	Reversible Charge/Discharge Reaction of a Ternary Metal Fluoride, Pb ₂ CuF ₆ : A Highly Conductive Cathode Material for Fluoride-Ion Batteries
			2021A7618	BL28XU	安部 武志	
43344	Takeshi Shimizu	5 (2022) 5191-5198	2020A3634	BL14B1	吉川 浩史	Application of Porous Coordination Polymer Containing Aromatic Azo Linkers as Cathode-Active Materials in Sodium-Ion Batteries
			2021A3634	BL14B1	吉川 浩史	
			2021B3634	BL14B1	吉川 浩史	
43367	Miyuki Shinoda	5 (2022) 2642-2646	2021B1722	BL19B2	藪内 直明	Rocksalt and Layered Metal Sulfides for Li Storage Applications: LiMe _{0.5} Ti _{0.5} S ₂ (Me = Fe ²⁺ , Mn ²⁺ , and Mg ²⁺)
43547	Takeyuki Sekimoto	5 (2022) 4125-4137	2019A5120	BL16XU	山田 周吾	Investigation of the Acceleration and Suppression of the Light-Induced Degradation of a Lead Halide Perovskite Solar Cell Using Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy
			2019B5120	BL16XU	山田 周吾	
			2020A5120	BL16XU	山田 周吾	
43642	Ikuya Yamada	5 (2022) 5995-6002	2020A0583	BL02B2	山田 幾也	Multiple Factors on Catalytic Activity for Oxygen Evolution Reaction in Magnetoplumbite Fe-Co Oxide BaFe _{12-x} Co _x O ₁₉
43658	Yadan Ren	5 (2022) 4108-4116	2017A1019	BL37XU	今井 英人	State of the Active Site in La _{1-x} Sr _x CoO _{3.5} Under Oxygen Evolution Reaction Investigated by Total-Reflection Fluorescence X-Ray Absorption Spectroscopy
			2018B1037	BL46XU	内本 喜晴	
			2020A1009	BL01B1	内本 喜晴	
			2020A1895	BL14B2	内山 智貴	
			2021A1032	BL37XU	内山 智貴	
43852	Teppey Nishi	3 (2020) 8383-8392	2019A7034	BL33XU	野中 敬正	Low-Overpotential Electrochemical Water Oxidation Catalyzed by CuO Derived from 2 nm-Sized Cu ₂ (NO ₃)(OH) ₃ Nanoparticles Generated by Laser Ablation at the Air-Liquid Interface

ACS Applied Materials & Interfaces

43362	Fanji Wang	13 (2021) 7510-7516	2019A1765	BL46XU	尾坂 格	Inversion of Circular Dichroism Signals in Chiral Polythiophene Films Induced by End-On-Oriented Surface-Segregated Monolayers
43363	Fengkun Chen	13 (2021) 57743-57749	2019A1765	BL46XU	尾坂 格	Triphenylene[1,2-c:7,8-c'] bis([1,2,5]thiadiazole) as a V-Shaped Electron-Deficient Unit to Construct Wide-Bandgap Amorphous Polymers for Efficient Organic Solar Cells
43364	Kyohei Nakano	13 (2021) 60299-60305	2021A1558	BL46XU	尾坂 格	Reduction of Electric Current Loss by Aggregation-Induced Molecular Alignment of a Non-Fullerene Acceptor in Organic Photovoltaics
			2021A1641	BL46XU	但馬 敬介	
43605	Yane Zheng	12 (2020) 42274-42284	2020A3610	BL14B1	松村 大樹	Ultra-Fine CeO ₂ Particles Triggered Strong Interaction with LaFeO ₃ Framework for Total and Preferential CO Oxidation
43688	Yuji Mahara	14 (2022) 24321-24331	2019A7030	BL33XU	田島 伸	How Fluorine Introduction Solves the Spinel Transition, a Fundamental Problem of Mn-Based Positive Electrodes
			2019B7030	BL33XU	田島 伸	
			2020A7030	BL33XU	田島 伸	
43820	Tomooki Hosaka	14 (2022) 23507-23517	2018B1613	BL46XU	駒場 慎一	Superconcentrated NaFSA-KFSA Aqueous Electrolytes for 2 V-Class Dual-Ion Batteries

Journal of the Physical Society of Japan-1

43321	Takaya Mitsui	91 (2022) 035002	2018A3551	BL11XU	三井 隆也	Dynamical Effects on Thermal Diffuse Scattering in Si 111 Bragg Reflection
			2018A3552	BL11XU	三井 隆也	
			2018B3551	BL11XU	境 誠司	
			2018B3552	BL11XU	三井 隆也	
			2019A1108	BL09XU	三井 隆也	
			2019A3552	BL11XU	三井 隆也	
			2019B3552	BL11XU	三井 隆也	
			2020A3552	BL11XU	三井 隆也	
43325	Yoshiya Yamamoto	88 (2019) 124703	2017A3551	BL11XU	三井 隆也	Mössbauer Spectroscopy Study of K ₂ Fe ₂ Se ₂ under Pressure

Journal of the Physical Society of Japan-2

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
43500	Takaya Mitsui	91 (2022) 064001	2018A3551	BL11XU	三井 隆也	Rayleigh Scattering of Synchrotron Mössbauer Radiation Using a Variable Bandwidth Nuclear Bragg Monochromator
			2018A3552	BL11XU	三井 隆也	
			2018B3551	BL11XU	境 誠司	
			2018B3552	BL11XU	三井 隆也	
			2019A1108	BL09XU	三井 隆也	
			2019A3552	BL11XU	三井 隆也	
			2019B3552	BL11XU	三井 隆也	
2020A3552	BL11XU	三井 隆也				
43634	Yajun Li	91 (2022) 054602	2020A0734	BL25SU	横谷 尚睦	Incorporation Site and Valence State of Sn Atoms in Sn-Substituted La(O,F)BiS ₂ Superconductor
			2020A1598	BL25SU	横谷 尚睦	
			2021A3845	BL23SU	横谷 尚睦	
			2021B1027	BL25SU	横谷 尚睦	
			2021B3845	BL23SU	横谷 尚睦	
2018B3844	BL23SU	横谷 尚睦				
43678	Kazuo Soda	91 (2022) 064713	2018B1061	BL47XU	曾田 一雄	Hard X-Ray Photoemission Study on Bulk Electronic Structure of Heusler-Type Fe _{2-x} V _{1+x} Al Alloys
43720	Tomoyuki Yamaguchi	91 (2022) 074704	2018B1021	BL09XU	溝川 貴司	Electronic Structure of Spinel-Type MgTi ₂ O ₄ : Valence Change at Surface and Effect of Fe Substitution for Mg
			2018B1049	BL47XU	大川 万里生	

Physical Review Materials

43377	Takahide Kubota	6 (2022) 044405	2019B3844	BL23SU	伊藤 啓太	Magnetoelastic Anisotropy in Heusler-type Mn _{2.5} CoGa _{1+x} Films
			2018B3842	BL23SU	木村 昭夫	
43461	Akitoshi Nakano	6 (2022) 044412	2019B1332	BL02B1	中埜 彰俊	Phase Variation of Ferroelectric Li ₂ Sr _{1-x} Ca _x (Nb _{1-x} Ta _x) ₂ O ₇ by Selective Reinforcement in the (Nb,Ta)-O Covalent Bonds
			2020A1431	BL02B1	中埜 彰俊	
			2020A1246	BL02B2	谷口 博基	
43562	Kazuki Sumida	6 (2022) 014006	2020A3811	BL23SU	藤森 伸一	Short-range Magnetic Interaction in a Monolayer 1T-VSe ₂ Film Revealed by Element-specific X-ray Magnetic Circular Dichroism
43600	Takashi Koida	6 (2022) 055401	2020A1876	BL46XU	野本 淳一	Effective Mass of High-mobility In ₂ O ₃ -based Transparent Conductive Oxides Fabricated by Solid-phase Crystallization
43672	Yuki Wakabayashi	5 (2021) 124403	2020A3841	BL23SU	小林 正起	Single-domain Perpendicular Magnetization Induced by the Coherent O 2p-Ru 4d/Hybridized State in an Ultra-High-Quality SrRuO ₃ Film
43818	Varun K. Kushwaha	6 (2022) 064411	2018A1231	BL13XU	Kumara L. S.	Prediction of Half-metallic Gap Formation and Fermi Level Position in Co-based Heusler Alloy Epitaxial Thin Films through Anisotropic Magnetoresistance Effect
			2018B1162	BL13XU	Kumara L. S.	
			2019B1138	BL13XU	Kumara L. S.	

Inorganic Chemistry

43410	Marie Simonnet	60 (2021) 13409-13418	2020A3711	BL22XU	小林 徹	Study on Phenanthroline Carboxamide for Lanthanide Separation: Influence of Amide Substituents
43421	Masafumi Nomi	61 (2022) 5255-5261	2019A1106	BL02B2	近藤 篤	Interlayer Modification of a Layered Silicate RUB-18 with 4-Phosphonophenylsilane and Its Surface Acidic Functions
			2017B1056	BL02B2	前田 和之	
43689	Shin Tajima	60 (2021) 17019-17032	2019A7030	BL33XU	田島 伸	Synthesis and Ion-Transport Properties of EuKGe ₂ O ₆ , Ca ₃ Fe ₂ Ge ₃ O ₁₂ , and BaCu ₂ Ge ₂ O ₇ -Type Oxide-Ion Conductors
			2019B7030	BL33XU	田島 伸	
			2020A7030	BL33XU	田島 伸	
43698	Svetlana M. Posokhova	61 (2022) 7910-7921	2020A4501	BL15XU	Belik Alexei	K ₅ Eu _{1-x} Tb _x (MoO ₄) ₄ Phosphors for Solid-State Lighting Applications: Aperiodic Structures and the Tb ³⁺ → Eu ³⁺ Energy Transfer
43816	Teppei Nagase	61 (2022) 8987-8991	2020A1646	BL02B2	福田 真幸	SrV _{0.3} Fe _{0.7} O _{2.8} : A Vacancy-Ordered Fe-Based Perovskite Exhibiting Room-Temperature Magnetoresistance
			2021B1159	BL02B2	山本 隆文	

Nature Communications

43503	Yoshio Kono	13 (2022) 2292	2019B1111	BL37XU	河野 義生	Experimental Evidence of Tetrahedral Symmetry Breaking in SiO ₂ Glass under Pressure
			2020A0600	BL37XU	河野 義生	
43596	Yalin Guo	13 (2022) 2648	2019B3415	BL08B2	崔 藝涛	Photo-thermo Semi-hydrogenation of Acetylene on Pd ₁ /TiO ₂ Single-atom Catalyst
			2020A3415	BL08B2	崔 藝涛	
43628	Kai Xu	13 (2022) 2443	2021A1387	BL01B1	Wang Feng	Catalytically Efficient Ni-NiO _x -Y ₂ O ₃ Interface for Medium Temperature Water-gas Shift Reaction
43648	Agata Butryn	12 (2021) 4461	2019A8088	BL2	Orville Allen	An On-demand, Drop-on-drop Method for Studying Enzyme Catalysis by Serial Crystallography
43807	Shunpei Yokoo	13 (2022) 644	2017A0072	BL10XU	廣瀬 敬	Stratification in Planetary Cores by Liquid Immiscibility in Fe-S-H

Science Advances

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
43316	Noriyoshi Tsujino	8 (2022) eabm1821	2015A1600	BL04B1	辻野 典秀	Viscosity of Bridgmanite Determined by in situ Stress and Strain Measurements in Uniaxial Deformation Experiments
			2015B1504	BL04B1	辻野 典秀	
			2017A1525	BL04B1	辻野 典秀	
			2017B1329	BL04B1	辻野 典秀	
			2018A1457	BL04B1	辻野 典秀	
2018B1258	BL04B1	辻野 典秀				
43627	Shohei Matsuda	8 (2022) eabn1991	2017A3504 2021A3711	BL11XU BL22XU	塩飽 秀啓 小林 徹	Marking Actinides for Separation: Resonance-enhanced Multiphoton Charge Transfer in Actinide Complexes
43663	Pedram Mehrabi	7 (2021) eabf1380	2016A8036 2016B8052	BL3 BL3	Miller Dwayne Miller Dwayne	Serial Femtosecond and Serial Synchrotron Crystallography can Yield Data of Equivalent Quality: A Systematic Comparison
43682	Patrick Rabe	7 (2021) eabh0250	2017B8085	BL2	Kern Jan	X-ray Free-Electron Laser Studies Reveal Correlated Motion during Isopenicillin N Synthase Catalysis
43756	Caner Akil	8 (2022) eabm2225	2020A2604	BL41XU	Robinson Robert	Structure and Dynamics of Oudinarchaeota Tubulin and the Implications for Eukaryotic Microtubule Evolution

Angewandte Chemie International Edition

43594	Takumi Nakanishi	59 (2020) 14781-14787	2019B1272	BL02B1	佐藤 治	Three-Step Spin State Transition and Hysteretic Proton Transfer in the Crystal of an Iron(II) Hydrazone Complex
			2018B1259	BL02B1	佐藤 治	
			2018A1213	BL02B1	佐藤 治	
			2017B1285	BL02B1	佐藤 治	
			2017A1364	BL02B1	佐藤 治	
43606	Wei-Hong Lai	59 (2020) 22171-22178	2018A3634 2018B3634	BL14B1 BL14B1	吉川 浩史 吉川 浩史	General Synthesis of Single-Atom Catalysts for Hydrogen Evolution Reactions and Room-Temperature Na-S Batteries
43718	Masaki Donoshita	60 (2021) 22839-22848	2017A1468	BL02B1	林 幹大	Various Stacking Patterns of Two-Dimensional Molecular Assemblies in Hydrogen-Bonded Cocrystals: Insight into Competitive Intermolecular Interactions and Control of Stacking Patterns
			2017A1476	BL43IR	林 幹大	
			2017B1379	BL43IR	林 幹大	
			2019A1180	BL02B1	北川 宏	
			2019B1380	BL02B1	北川 宏	
			2020A1199	BL02B1	北川 宏	
2020A1206	BL02B2	大坪 主弥				
43729	Kang Xia	(2022) Online published 29 May 2022	2021A1620	BL14B2	山口 和也	Supported Anionic Gold Nanoparticle Catalysts Modified Using Highly Negatively Charged Multivacant Polyoxometalates

Applied Physics Letters

43368	Yi-Jan Lin	119 (2021) 192102	2019A4130	BL12B2	Tseng Yuan-Chieh	Impacts of Surface Nitridation on Crystalline Ferroelectric Phase of Hf _{1-x} Zr _x O ₂ and Ferroelectric FET Performance
43420	Jiaqi Shen	120 (2022) 092404	2014A0079	BL25SU	白土 優	Low Pressure Drive of the Domain Wall in Pt/Co/Au/Cr ₂ O ₃ /Pt Thin Films by the Magnetoelectric Effect
			2018A1353	BL25SU	白土 優	
			2018B1338	BL39XU	白土 優	
			2018B1384	BL25SU	白土 優	
			2019A1200	BL25SU	白土 優	
			2019B1196	BL25SU	白土 優	
			2020A1172	BL25SU	白土 優	
			2021A1228	BL25SU	白土 優	
2021B1206	BL25SU	白土 優				
43659	Aierxiding Abulikemu	120 (2022) 182404	2021A1316 2020A1570	BL02B2 BL02B2	松永 利之 松永 利之	Partial Cation Disorder in Li ₂ MnO ₃ Obtained by High-pressure Synthesis
43696	Akihiko Ikeda	120 (2022) 142403	2021A8063	BL3	池田 暁彦	Generating 77 T using a Portable Pulse Magnet for Single-shot Quantum Beam Experiments

Chemical Communications

43386	Kazuyuki Iwase	58 (2022) 4865-4868	2021B1204	BL01B1	神谷 和秀	Activity Switching of Sn and In Species in Heusler Alloys for Electrochemical CO ₂ Reduction
43597	Yuto Murata	58 (2022) 6421-6424	2021A1681	BL46XU	Seo Okkyun	Compositional Dependence of Structures and Hydrogen Evolution Reaction Activity of Platinum-group-metal Quinary RuRhPdIrPt Alloy Nanoparticles
			2021B1740	BL46XU	Seo Okkyun	
			2021B1750	BL46XU	安野 聡	
43842	Fumi Suehiro	58 (2022) 7026-7029	2021B1089	BL40B2	西村 智貴	Bioorthogonal Micellar Nanoreactors for Prodrug Cancer Therapy using an Inverse-electron-demand Diels-Alder Reaction
43848	Takahiro Ikeda	58 (2022) 8125-8128	2017A7034	BL33XU	野中 敬正	Ni-modified β-FeOOH Nanorod Cocatalysts for Oxygen Evolution Utilising Photoexcited Holes on a N 2p Level in a N-doped TiO ₂ Electrode
			2019A7034	BL33XU	野中 敬正	
			2020A7034	BL33XU	野中 敬正	

Geophysical Research 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
43750	Longli Guan	49 (2022) e2022GL098549	2018B1080	BL04B1	山崎 大輔	Seismic Anisotropy in the Lower Mantle Transition Zone Induced by Lattice Preferred Orientation of Akimotoite
			2019B1088	BL04B1	山崎 大輔	
43806	Shoh Tagawa	49 (2022) e2021GL096260	2017A0072	BL10XU	廣瀬 敬	High-Temperature Equation of State of FeH: Implications for Hydrogen in Earth's Inner Core
43808	Yasuhiro Kuwayama	49 (2022) e2021GL096219	2017A0072	BL10XU	廣瀬 敬	Post-Perovskite Phase Transition in the Pyrolytic Lowermost Mantle: Implications for Ubiquitous Occurrence of Post-Perovskite Above CMB
43809	Masahiro Hasegawa	48 (2021) e2021GL092681	2017A0072	BL10XU	廣瀬 敬	Liquidus Phase Relations and Solid-Liquid Partitioning in the Fe-Si-C System Under Core Pressures

Journal of the American Chemical Society

43345	Fumiko Nakagawa	144 (2022) 5871-5877	2019B1672	BL40B2	猿山 雅亮	<i>In Situ</i> Control of Crystallinity of 3D Colloidal Crystals by Tuning the Growth Kinetics of Nanoparticle Building Blocks
			2020A1577	BL40B2	猿山 雅亮	
			2020A1596	BL02B2	佐藤 良太	
			2021A1076	BL40B2	猿山 雅亮	
43534	Yasuhiro Yamauchi	144 (2022) 8818-8826	2021B1717	BL14B2	植竹 裕太	Room-Temperature Reversible Chemisorption of Carbon Monoxide on Nickel(0) Complexes
			2021A1630	BL14B2	植竹 裕太	
43722	Susumu Oda	144 (2022) 106-112	2017A1132	BL40XU	畠山 琢次	One-Shot Synthesis of Expanded Heterohelicene Exhibiting Narrowband Thermally Activated Delayed Fluorescence
			2017B1073	BL40XU	畠山 琢次	
			2018A1114	BL40XU	畠山 琢次	
			2018B1125	BL40XU	畠山 琢次	
			2019A1142	BL40XU	畠山 琢次	
43780	Kenichiro Omoto	142 (2020) 12651-12657	2019A0068	BL02B2	森吉 千佳子	Thermosaliency in Macrocyclic-Based Soft Crystals via Anisotropic Deformation of Disilanyl Architecture
			2015A0074	BL02B2	森吉 千佳子	

Langmuir

43423	Surachada Chuaychob	38 (2022) 4870-4878	2019A1291	BL40B2	藤田 雅弘	G-Quadruplex-Functionalized Gold Nanoparticles for a Real-Time Biomolecule Sensor with On-Demand Tunable Properties
			2019B1280	BL40B2	藤田 雅弘	
			2020A1297	BL40B2	藤田 雅弘	
43546	Masashi Mizukami	38 (2022) 5248-5256	2018B1485	BL40B2	栗原 和枝	Structures of Nanoconfined Liquids Determined by Synchrotron X-ray Diffraction
			2019A1452	BL40B2	栗原 和枝	
			2019B1198	BL40B2	栗原 和枝	
			2020A1575	BL40B2	栗原 和枝	
			2018A1470	BL40B2	栗原 和枝	
			2018A2069	BL40B2	太田 昇	
			2019B2089	BL40B2	太田 昇	
43588	Yusuke Sakamoto	38 (2022) 5883-5890	2020A1070	BL40B2	西村 智貴	Supramolecular Shear-Thinning Glycopeptide Hydrogels for Injectable Enzyme Prodrug Therapy Applications
			2021B1089	BL40B2	西村 智貴	
			2021A1065	BL40B2	西村 智貴	
43602	Taishi Kobayashi	35 (2019) 7995-8006	2016B3609	BL14B1	松村 大樹	Structural Approach to Understanding the Solubility of Metal Hydroxides
			2017A3609	BL14B1	松村 大樹	

Acta Materialia

43319	Magnus Nygård	205 (2021) 116496	2019A3783	BL22XU	榊 浩司	The Average and Local Structure of TiVCrNbD _x (x = 0, 2.2, 8) from Total Scattering and Neutron Spectroscopy
43551	Zixi Chen	232 (2022) 117958	2018A1007	BL25SU	宝野 和博	Microstructure and Atomic Order Analyses in CoFeCrAl Heusler Alloy Thin Films: Interpretation of Spin Gapless Semiconductor-like Transport Properties
			2017B0921	BL13XU	壬生 攻	
			2019A1492	BL25SU	桜庭 裕弥	
			2019B1657	BL13XU	桜庭 裕弥	
43736	Hiroo Tajiri	235 (2022) 118063	2017B1313	BL13XU	田尻 寛男	Structural Insight using Anomalous XRD into Mn ₂ CoAl Heusler Alloy Films Grown by Magnetron Sputtering, IBAS, and MBE Techniques
			2018A1231	BL13XU	Kumara L. S.	
			2017B0921	BL13XU	壬生 攻	
			2018B1162	BL13XU	Kumara L. S.	
			2018B1538	BL02B2	森 茂生	
			2018B2092	BL13XU	田尻 寛男	

Chemical Science-1

43361	Chao Wang	11 (2020) 4702-4708	2019A1765	BL46XU	尾坂 格	Surface-induced Enantiomorphic Crystallization of Achiral Fullerene Derivatives in Thin Films
-------	-----------	------------------------	-----------	--------	------	---

Chemical Science-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
43589	Tomoki Nishimura	13 (2022) 5243-5251	2020A0524	BL40B2	西村 智貴	Single-component Nanodiscs <i>via</i> the Thermal Folding of Amphiphilic Graft Copolymers with the Adjusted Flexibility of the Main Chain
			2020A1070	BL40B2	西村 智貴	
			2021A1065	BL40B2	西村 智貴	
43660	Hanui Kim	12 (2021) 2114-2120	2015B8055	BL3	足立 伸一	Ultrafast Structural Dynamics of in-cage Isomerization of Diiodomethane in Solution

Crystals

43614	Hiroshi Sakurai	12 (2022) 690	2017B0921	BL08W	壬生 攻	Symmetry of Wavefunction at the Interface of Fe/MgO Magnetic Tunneling Junction
			2015B0901	BL08W	千葉 大地	
43749	Kenichiro Hashimoto	12 (2022) 831	2016A0073	BL43IR	佐々木 孝彦	Optical Conductivity Spectra of Charge-Crystal and Charge-Glass States in a Series of θ -Type BEDT-TTF Compounds
			2020A0639	BL43IR	佐々木 孝彦	
			2020A1065	BL43IR	佐々木 孝彦	
43752	Kosuke Suzuki	12 (2022) 824	2019A1720	BL08W	花輪 洋宇	Non-Destructive Analysis of a High-Power Capacitor Using High-Energy X-ray Compton Scattering
			2019B1815	BL08W	花輪 洋宇	
			2021A1369	BL08W	鈴木 宏輔	
			2021B1505	BL08W	鈴木 宏輔	

Hyperfine Interaction

43326	Ryo Masuda	243 (2022) 17	2021A2087	BL35XU	依田 芳卓	^{161}Dy Synchrotron-radiation-based Mössbauer Absorption Spectroscopy
			2019B3581	BL11XU	瀬戸 誠	
			2020A3581	BL11XU	瀬戸 誠	
			2021A3581	BL11XU	瀬戸 誠	
43329	Takaya Mitsui	242 (2021) 37	2017A3551	BL11XU	三井 隆也	Direct Observation of Magnetic Friedel Oscillation at Fe(001) Surface
			2017B3551	BL11XU	三井 隆也	
			2018A3552	BL11XU	三井 隆也	
			2018B3551	BL11XU	境 誠司	
			2018B3552	BL11XU	三井 隆也	
43331	Jun Okabayashi	242 (2021) 59	2019A3551	BL11XU	境 誠司	Mössbauer Spectroscopy with Polarized Synchrotron Beams at Fe/Au (111) Interface
			2019B3551	BL11XU	境 誠司	
			2020A3551	BL11XU	境 誠司	

JACS Au

43297	Katsumasa Sakoda	2 (2022) 665-672	2018A1784	BL14B2	水垣 共雄	Selective Hydrodeoxygenation of Esters to Unsymmetrical Ethers over a Zirconium Oxide-Supported Pt-Mo Catalyst
			2018B1792	BL14B2	水垣 共雄	
			2019B1858	BL14B2	水垣 共雄	
			2020A1487	BL01B1	満留 敬人	
			2021A1647	BL14B2	水垣 共雄	
43298	Hiroya Ishikawa	2 (2022) 419-427	2020A1640	BL14B2	水垣 共雄	Phosphorus-Alloying as a Powerful Method for Designing Highly Active and Durable Metal Nanoparticle Catalysts for the Deoxygenation of Sulfoxides: Ligand and Ensemble Effects of Phosphorus
			2020A1487	BL01B1	満留 敬人	
43568	Katsutoshi Sato	2 (2022) 1627-1637	2014B1824	BL01B1	永岡 勝俊	Operando Spectroscopic Study of the Dynamics of Ru Catalyst during Preferential Oxidation of CO and the Prevention of Ammonia Poisoning by Pt
			2013B1771	BL01B1	永岡 勝俊	
			2019A1379	BL01B1	佐藤 勝俊	

Japanese Journal of Applied Physics

43290	Noritake Isomura	61 (2022) 048001	2021A5371	BL16B2	小坂 悟	Distinguishing Sb-containing Sites in SnO ₂ using Spectrum Simulation of X-ray Absorption Spectroscopy
43393	Akitaka Yoshigoe	59 (2020) SMMB05	2013B3802	BL23SU	吉越 章隆	Synchrotron Radiation Photoelectron Spectroscopy Study on Oxides Formed at Ge(100)2×1 Surface in Atmosphere
			2015A3802	BL23SU	吉越 章隆	
			2015B3801	BL23SU	吉越 章隆	
			2018A3801	BL23SU	吉越 章隆	
			2018B3801	BL23SU	吉越 章隆	
			2019A3801	BL23SU	吉越 章隆	
43740	Takuya Shibata	61 (2022) 065502	2020A5130	BL16XU	今澤 貴史	Effects of Carbon Impurity in ALD-Al ₂ O ₃ Film on HAXPES Spectrum and Electrical Properties of Al ₂ O ₃ /AlGaIn/GaN MIS Structure
			2021B5131	BL16XU	南條 拓真	
			2021B5132	BL16XU	山田 高寛	

Journal of Materials Chemistry A

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
43360	Wei-Chih Wang	8 (2020) 6268-6275	2019A1765	BL46XU	尾坂 格	Face-on Reorientation of π -conjugated Polymers in Thin Films by Surface-segregated Monolayers
43448	Donglin Han	10 (2022) 8887-8897	2019A1795	BL14B2	韓 東麟	Selecting the Best Dopant Sites in Proton-Conducting Pyrochlore Oxides ($\text{La}_2(\text{Nb}_{1-x}\text{Y}_x)_2\text{O}_{7-\delta}$) by Probing Hydration-induced Local Distortion
43781	Haruki Kusaka	9 (2021) 24631-24640	2019A0068	BL02B2	森吉 千佳子	Crystalline Boron Monosulfide Nanosheets with Tunable Bandgaps

The Journal of Physical Chemistry C

43460	Gian Marco Pierantozzi	125 (2021) 14430-14437	2019A1560	BL19LXU	Panaccione Giancarlo	Evidence of Robust Half-Metallicity in Strained Manganite Films
43604	Hiroyuki Itoi	124 (2020) 15205-15215	2017B3609	BL14B1	松村 大樹	Unusual Redox Behavior of Ruthenocene Confined in the Micropores of Activated Carbon
43624	Kenta Furutani	126 (2022) 7999-8015	2014B1814	BL04B2	大窪 貴洋	Elucidating the Atomic Structures of the Gel Layer Formed during Aluminoborosilicate Glass Dissolution: An Integrated Experimental and Simulation Study

Journal of Physics: Condensed Matter

43405	Hitoshi Yamaoka	34 (2022) 255501	2017A4254	BL12XU	水木 純一郎	Pressure-induced Transitions in RCO_5 ($R = \text{Y}, \text{La}$) Studied by X-ray Emission Spectroscopy, X-ray Diffraction and Density Functional Theory
			2017B4260	BL12XU	水木 純一郎	
			2018A4141	BL12B2	辻井 直人	
43419	Yasuhiro Yoneda	33 (2021) 035401	2019A1217	BL04B2	米田 安宏	Nanoscale Structural Analysis of $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$
			2019A3607	BL14B1	米田 安宏	
			2019B1194	BL04B2	米田 安宏	
43665	Katarina Pussi	34 (2022) 285301	2021B1305	BL04B2	Kamali-Moghaddam Saeed	Atomic Structure of an FeCrMoCBy Metallic Glass Revealed by High Energy X-ray Diffraction

Journal of Solid State Chemistry

43667	Fumito Fujishiro	312 (2022) 123254	2019B1146	BL01B1	大石 昌嗣	Oxygen Desorption Properties of Perovskite-type $\text{SrFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_{3-\delta}$: B-site Mixing Effect on the Reduction Properties of Fe and Co Ions
			2018B1446	BL01B1	大石 昌嗣	
			2018A1174	BL01B1	大石 昌嗣	
			2017B1437	BL01B1	大石 昌嗣	
43701	Alexei A. Belik	309 (2022) 122969	2020A4501	BL15XU	Belik Alexei	Multiple Magnetic Transitions and Complex Magnetic Behaviour of the Perovskite Manganite $\text{NdMn}_7\text{O}_{12}$
43735	Hiroki Ishibashi	312 (2022) 123273	2018B1538	BL02B2	森 茂生	Phase Diagram and Crystal Structure of Ti-doped HoMnO_3 by High-resolution Synchrotron Powder Diffraction
			2021B1642	BL02B2	石橋 広記	
			2019B1504	BL01B1	久保田 佳基	
			2019A0068	BL02B2	森吉 千佳子	
			2015A0074	BL02B2	森吉 千佳子	

Journal of Synchrotron Radiation

43391	Takahiko Masuda	28 (2021) 111-119	2019B1619	BL19LXU	吉村 浩司	Absolute X-ray Energy Measurement using a High-accuracy Angle Encoder
			2020A1284	BL19LXU	吉村 浩司	
			2014A1334	BL09XU	吉村 浩司	
			2014B1524	BL09XU	吉村 浩司	
			2015B1380	BL09XU	吉村 浩司	
			2016A1420	BL09XU	吉村 浩司	
			2016B1232	BL09XU	吉村 浩司	
			2017B1335	BL09XU	吉村 浩司	
			2018A1326	BL19LXU	吉村 浩司	
			2018B1436	BL19LXU	吉村 浩司	
43542	Nelson Hua	27 (2020) 1626-1632	2018B8080	BL3	Shpyrko Oleg	Extracting Contrast in an X-ray Speckle Visibility Spectroscopy Experiment under Imperfect Conditions
43727	Hiroki Yamada	29 (2022) 549-554	2018B2095	BL04B2	尾原 幸治	Fully Automated Measurement System for Temperature-dependent X-ray Total Scattering at Beamline BL04B2 at SPring-8
			2019A2058	BL04B2	尾原 幸治	
			2019B2091	BL04B2	尾原 幸治	
			2021A1455	BL04B2	山田 大貴	
			2021B1612	BL04B2	山田 大貴	

Protein 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
43374	Le Zhai	31 (2022) e4285	2018A6830	BL44XU	中島 良介	Structure-based Analysis and Evolution of a Monomerized Red-colored Chromoprotein from the <i>Olinidias formosa</i> Jellyfish
			2018B6830	BL44XU	中島 良介	
			2019A6928	BL44XU	中島 良介	
43645	Kosuke Oda	31 (2022) e4338	2021A6607	BL44XU	小田 康祐	Catalytic Mechanism of DcsB: Arginase Framework used for Hydrolyzing its Inhibitor
			2020A6508	BL44XU	小田 康祐	
			2018B6868	BL44XU	小田 康祐	
2018B2720	BL26B1	小田 康祐				
43693	Yoshiki Inoue	31 (2022) e4331	2020A2608	BL45XU	潘 東青	Structure-based Alteration of Tryptophan Residues of the Multidrug Transporter CmABC1 to Assess Substrate Binding using Fluorescence Spectroscopy

Scripta Materialia

43444	Tomoya Nagira	216 (2022) 114743	2021B1152	BL20XU	柳樂 知也	Direct Observation of Solidification Behaviors of Fe-Mn-Si Alloys during TIG Spot Welding using Synchrotron X-ray
			2021A1121	BL20XU	柳樂 知也	
			2020A1150	BL20XU	柳樂 知也	
			2019B1439	BL20XU	柳樂 知也	
43523	Tomohiko Hojo	210 (2022) 114463	2018B3681	BL14B1	北條 智彦	Comparative Study of Stress and Strain Partitioning Behaviors in Medium Manganese and Transformation-induced Plasticity-aided Bainitic Ferrite Steels
			2020A3681	BL14B1	北條 智彦	
43843	Binbin Yue	219 (2022) 114879	2019B1287	BL10XU	Yue Binbin	Deformation Behavior of High-entropy Oxide (Mg,Co,Ni,Cu,Zn)O under Extreme Compression

ACS Catalysis

43296	Jingyan Guan	12 (2022) 3881-3889	2021A1489	BL01B1	鈴木 肇	Two-Dimensional Metal–Organic Framework Acts as a Hydrogen Evolution Cocatalyst for Overall Photocatalytic Water Splitting
43684	Shingo Hasegawa	12 (2022) 6550-6558	2021A1200	BL01B1	増田 晋也	Polymer-Stabilized Au ₃₈ Cluster: Atomically Precise Synthesis by Digestive Ripening and Characterization of the Atomic Structure and Oxidation Catalysis
			2021B1415	BL01B1	増田 晋也	

ACS Omega

43619	Kouichi Nakashima	6 (2021) 9410-9425	2020A3744	BL22XU	中島 光一	Stabilization of Size-Controlled BaTiO ₃ Nanocubes via Precise Solvothermal Crystal Growth and Their Anomalous Surface Compositional Reconstruction
43641	Kouichi Nakashima	6 (2021) 32517-32527	2019B3701	BL22XU	米田 安宏	Optimizing TiO ₂ through Water-Soluble Ti Complexes as Raw Material for Controlling Particle Size and Distribution of Synthesized BaTiO ₃ Nanocubes
			2020A3744	BL22XU	中島 光一	

Acta Crystallographica Section F

43571	Sho Ito	78 (2022) 193-199	2019B6935	BL44XU	西野 達哉	Biochemical and Crystallization Analysis of the CENP-SX–DNA Complex
			2017A6737	BL44XU	西野 達哉	
			2020A6535	BL44XU	西野 達哉	
43692	Hideo Okumura	78 (2022) 241-251	2017A2562	BL26B1	馬場 清喜	<i>In situ</i> Crystal Data-collection and Ligand-screening System at SPring-8
			2018A2537	BL26B1	馬場 清喜	
			2018B2719	BL26B1	奥村 英夫	
			2019B2722	BL26B1	奥村 英夫	
			2021A2749	BL26B1	奥村 英夫	

Bulletin of the Chemical Society of Japan

43435	Keishiro Tahara	95 (2022) 400-409	2019B1193	BL02B1	田原 圭志朗	Synthesis of an Organometallic Alkyl-Co(III) Complex with Amidoquinoline Directing Groups via C(sp ³)–H Activation and Its UV–vis/NMR Spectroscopic, Crystallographic, DFT, and Electrochemical Studies
			2020A1278	BL02B1	阿部 正明	
43755	Ryo Sasai	95 (2022) 802-812	2010A1287	BL02B2	笹井 亮	Origin of Selective Nitrate Removal by Ni ²⁺ –Al ³⁺ Layered Double Hydroxides in Aqueous Media and Its Application Potential in Seawater Purification
			2010B1279	BL02B2	笹井 亮	
			2011B1703	BL02B2	笹井 亮	
			2012B1770	BL02B2	笹井 亮	
			2013B1677	BL02B2	新井 栄作	
			2014A1684	BL02B2	帆足 宏一	
			2015A0074	BL02B2	森吉 千佳子	
			2017A1483	BL02B2	藤村 卓也	
			2017B1196	BL02B2	藤村 卓也	
			2018A1004	BL02B2	笹井 亮	
2019A0068	BL02B2	森吉 千佳子				

Catalysts

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
43638	Wakao Fukuda	12 (2022) 567	2018B6850	BL44XU	溝端 栄一	Substrate Specificity of an Aminopropyltransferase and the Biosynthesis Pathway of Polyamines in the Hyperthermophilic Crenarchaeon <i>Pyrobaculum caldifontis</i>
			2019B6950	BL44XU	溝端 栄一	
43764	Kotohiro Nomura	12 (2022) 198	2016B1509	BL01B1	野村 琴広	Solution XAS Analysis for Reactions of Phenoxide-Modified (Arylimido)vanadium(V) Dichloride and (Oxo)vanadium(V) Complexes with Al Alkyls: Effect of Al Cocatalyst in Ethylene (Co)polymerization
			2017A1512	BL01B1	野村 琴広	
			2018A1245	BL01B1	野村 琴広	
			2018B1335	BL01B1	野村 琴広	
			2019A1233	BL01B1	野村 琴広	
2020A1473	BL01B1	野村 琴広				

Chemistry Letters

43505	Ryosuke Matsuno	51 (2022) 650-653	2021A7499	BL07LSU	高原 淳	Electronic Structure of Carbon Dioxide in Sylgard-184 Evaluated by using X-ray Emission Spectroscopy
43620	Daiki Kido	51 (2022) 538-541	2018B7901	BL36XU	竹口 竜弥	Constrained Thorough Search Analysis of Multi-edge EXAFS Spectra for Characterization of Bimetallic Nanoparticles
			2019A7901	BL36XU	竹口 竜弥	
			2019A7904	BL36XU	朝倉 清高	

Chemistry of Materials

43352	Lei Hu	33 (2021) 7665-7674	2019B1896	BL19B2	東 正樹	Origin and Absence of Giant Negative Thermal Expansion in Reduced and Oxidized Ca_2RuO_4
			2019B3751	BL22XU	町田 晃彦	
			2020A3783	BL22XU	Hu Lei	
			2020A2061	BL14B2	Hu Lei	
			2020A2132	BL02B2	河口 彰吾	
2021A1074	BL02B2	Hu Lei				
43366	Ruijie Qi	34 (2022) 1946-1955	2021B1722	BL19B2	藪内 直明	Highly Graphitic Carbon Coating on $\text{Li}_{1.25}\text{Nb}_{0.25}\text{V}_{0.5}\text{O}_2$ Derived from a Precursor with a Perylene Core for High-Power Battery Applications

Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects

43640	Daisuke Kawamoto	642 (2022) 128708	2019B1840	BL14B2	石田 玉青	Reduction Mechanism of Au(III) Species Adsorbed on $\delta\text{-MnO}_2$
43765	Shiho Yada	648 (2022) 129247	2018A1688	BL40B2	矢田 詩歩	Adsorption and Aggregation Properties of Homogeneous Polyoxyethylene Alkyl Ether- and Ester-type Nonionic Surfactants with Multi-branched Double Chains

Dalton Transactions

43379	Raimundas Sereika	50 (2021) 3005-3010	2019B4128	BL12B2	Ding Yang	Quenchable Amorphous Glass-like Material from VF_3
			2019A4132	BL12B2	Ding Yang	
			2019A4131	BL12B2	久保園 芳博	
			2018A4140	BL12B2	Hwang Bing Joe	
43779	Ryosuke Sei	49 (2020) 3321-3325	2019A0068	BL02B2	森吉 千佳子	Tetragonality Induced Superconductivity in Anti- ThCr_2Si_2 -type $\text{RE}_2\text{O}_2\text{Bi}$ ($\text{RE} = \text{Rare Earth}$) with Bi Square Nets
			2015A0074	BL02B2	森吉 千佳子	

Electrochemistry

43365	Ruijie Qi	90 (2022) 037005	2021B1722	BL19B2	藪内 直明	Metastable and Nanosized $\text{Li}_{1.2}\text{Nb}_{0.2}\text{V}_{0.6}\text{O}_2$ for High-Energy Li-ion Batteries
43403	Yasushi Idemoto	90 (2022) 027002	2020A1729	BL14B2	井手本 康	Electrochemical Properties and Crystal and Electronic Structures of Spinel $\alpha\text{MgCo}_{2-x}\text{Mn}_x\text{O}_4$ ($1 - \alpha$) $\text{Mg}(\text{Mg}_{0.33}\text{V}_{1.67}\text{Ni}_y)\text{O}_4$ for Magnesium Secondary Batteries
			2018B1596	BL14B2	井手本 康	
			2018B1777	BL19B2	井手本 康	
			2019A1626	BL14B2	井手本 康	
			2019A1760	BL19B2	井手本 康	
			2019B1714	BL14B2	井手本 康	
			2019B1882	BL19B2	井手本 康	
2020A1728	BL19B2	井手本 康				

Food 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
43731	Tetsuya Masuda	389 (2022) 132996	2014B2020	BL26B2	榎田 哲哉	Structure of Thaumatin under Acidic Conditions: Structural insight into the Conformations in Lysine Residues Responsible for Maintaining the Sweetness after Heat-Treatment
			2014A1063	BL38B1	榎田 哲哉	
			2014B1181	BL26B1	榎田 哲哉	
			2015A1037	BL26B1	榎田 哲哉	
			2016A2548	BL26B1	榎田 哲哉	
			2017A2511	BL26B1	榎田 哲哉	
			2017B2526	BL38B1	榎田 哲哉	
			2018A2526	BL38B1	榎田 哲哉	
			2018A2546	BL26B1	榎田 哲哉	
			2019A2529	BL26B1	榎田 哲哉	
2019A2532	BL26B1	榎田 哲哉				
2020A2537	BL26B1	榎田 哲哉				
43738	Hideaki Takagi	393 (2022) 133389	2021A1314	BL40B2	高木 秀彰	Temperature Dependence of the Casein Micelle Structure in the Range of 10–40 °C: An in-situ SAXS Study
			2021B1447	BL40B2	高木 秀彰	

Journal of Hazardous Materials

43741	Baasansuren Gankhurel	436 (2022) 129017	2020A3740	BL22XU	高橋 嘉夫	Arsenic and Uranium Contamination of Orog Lake in the Valley of Gobi Lakes, Mongolia: Field Evidence of Conservative Accumulation of U in an Alkaline, Closed-basin Lake during Evaporation
43743	Ayumi Minoda	432 (2022) 128576	2020A0174	BL01B1	高橋 嘉夫	Cell Population Behavior of the Unicellular Red Alga <i>Galdieria sulphuraria</i> during Precious Metal Biosorption
			2019B1498	BL37XU	高橋 嘉夫	

Journal of Physics and Chemistry of Solids

43601	S. Murase	162 (2022) 110468	2018A3609	BL14B1	松村 大樹	Valence Control of Charge and Orbital Frustrated System YbFe ₂ O ₄ with Electrochemical Li ⁺ Intercalation
			2018B3611	BL14B1	辻 卓也	
43813	Makoto Taniguchi	169 (2022) 110840	2019A6939	BL44XU	東浦 彰史	Synthesis of Superparamagnetic Co–Pt Nanoparticle in <i>Pyrococcus furiosus</i> Virus-like Particle Crystal
			2018A1353	BL25SU	白土 優	

Materials Chemistry and Physics

43339	Waner He	281 (2022) 125861	2021B1106	BL40B2	松本 英俊	[2+2] Cycloaddition-retroelectrocyclization Reactivity and Thin Film Transistor Performances of Carbazole-based Platinum Polyene Polymers
43382	Shin Inagaki	281 (2022) 125911	2021A1693	BL46XU	稲垣 伸	Synthesis of a novel A-b(B-co-C)-type Terpolymer with a Regioregular Poly(3-hexylthiophene) Segment and its Application to Intrinsically Stretchable Transistor Memory

Nanomaterials

43699	Dmitry V. Karpinsky	12 (2022) 1565	2021A1334	BL02B2	Belik Alexei	Structural and Magnetic Phase Transitions in BiFe _{1-x} Mn _x O ₃ Solid Solution Driven by Temperature
43700	Cameliu Hincinschi	12 (2022) 1607	2021A1334	BL02B2	Belik Alexei	Unexpected Phonon Behaviour in BiFe _x Cr _{1-x} O ₃ , a Material System Different from Its BiFeO ₃ and BiCrO ₃ Parents

Nature

43644	Ilya Belopolski	604 (2022) 647-652	2017A1669	BL25SU	Belopolski Ilya	Observation of a Linked-loop Quantum State in a Topological Magnet
			2019A1696	BL25SU	Cochran Tyler	
			2018A1684	BL25SU	Belopolski Ilya	
43757	Tatsuya Hirasawa	606 (2022) 109-112	2019A1053	BL20B2	平沢 達矢	Morphology of <i>Palaeospondylus</i> Shows Affinity to Tetrapod Ancestors

Nature Chemistry

43456	Mickaele Bonneau	14 (2022) 816-822	2018B1820	BL02B1	北川 進	Tunable Acetylene Sorption by Flexible Catenated Metal–Organic Frameworks
			2019A1136	BL02B2	北川 進	
43695	Manuel Maestre-Reyna	14 (2022) 677-685	2017A8019	BL3	岩田 想	Serial Crystallography Captures Dynamic Control of Sequential Electron and Proton Transfer Events in a Flavoenzyme
			2017B8052	BL2	別所 義隆	
			2018A8008	BL2	別所 義隆	
			2018B8031	BL2	別所 義隆	
			2019A8014	BL2	別所 義隆	
2019B8005	BL2	別所 義隆				

Physical Chemistry Chemical 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
43543	Miguel Angel Gonzalez	24 (2022) 10727-10736	2014A1044	BL04B2	Saboungi Marie-Louise	Structure of Water-in-Salt and Water-in-Bisalt Electrolytes
43739	Namie Ikeda	24 (2022) 9626-9633	2021B1408	BL04B2	藤井 健太	Polyether-based Solid Electrolytes with a Homogeneous Polymer Network: Effect of the Salt Concentration on the Li-ion Coordination Structure

Physics and Chemistry of Minerals

43535	Sota Takagi	49 (2022) 8	2021A8060	BL3	瀬戸 雄介	Phase Transition and Melting in Zircon by Nanosecond Shock Loading
			2021A8501	BL3	一柳 光平	
			2021A8017	BL3	尾崎 典雅	
			2021A8022	BL3	奥地 拓生	
43536	Tatsuya Wakamatsu	49 (2022) 17	2017A0072	BL10XU	廣瀬 敬	Compressional Wave Velocity for Iron Hydrides to 100 Gigapascals via Picosecond Acoustics

Polymer

43422	Ren Tomisawa	245 (2022) 124708	2018A7214	BL03XU	中田 克	Fiber Structure Development of Poly(ethylene terephthalate-co-isophthalate) Copolymer
43515	Takumitsu Kida	250 (2022) 124869	2021B1335	BL40XU	木田 拓充	Evaluation of Microscopic Structural Changes during Strain Hardening of Polyethylene Solids using In situ Raman, SAXS, and WAXD Measurements under Step-cycle Test

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

43428	Lingping Kong	117 (2020) 16121-16126	2019A1455	BL43IR	Liu Gang	Highly Tunable Properties in Pressure-treated Two-dimensional Dion-Jacobson Perovskites
43773	Teruya Nakamura	119 (2022) e2203118119	2017A6761	BL44XU	山縣 ゆり子	Visualization of Mutagenic Nucleotide Processing by <i>Escherichia coli</i> MutT, a Nudix Hydrolase
			2015B6551	BL44XU	山縣 ゆり子	

軽金属 (Journal of Japan Institute of Light Metals)

43629	Naoki Takata	72 (2022) 178-184	2021A1663	BL19B2	足立 大樹	Effect of Heat Treatment on Solute Si Content in Al-12%Si Alloy Additive-manufactured by Laser Powder Bed Fusion
43630	Hiroki Adachi	72 (2022) 274-276	2019A1809	BL46XU	足立 大樹	Evaluation of Change in Dislocation Substructure during Tensile Deformation in 1200 Aluminum by using In-situ XRD Measurement
			2019B1030	BL46XU	辻 伸泰	

材料 (Journal of the Society of Materials Science, Japan)

43455	Kenji Suzuki	71 (2022) 347-353	2018B3721	BL22XU	菖蒲 敬久	Stress Measurements of Quasi-Coarse Grained Material using Double Exposure Method with High-Energy Monochromatic X-Rays
			2019B3605	BL14B1	菖蒲 敬久	
			2019B3684	BL14B1	鈴木 賢治	
			2020A3721	BL22XU	菖蒲 敬久	
			2020A3684	BL14B1	鈴木 賢治	
43459	Ayumi Shiro	71 (2022) 354-360	2013B3723	BL22XU	城 鮎美	In Situ Observation of Recrystallization of Aluminum Single Crystals Using Synchrotron Radiation Monochromatic X-Rays
			2014A3722	BL22XU	城 鮎美	

ACS Applied Nano Materials

43545	Yugo Kubo	5 (2022) 6757-6769	2015B5030	BL16XU	上村 重明	High-Energy Electron-Irradiated Fluorinated Ethylene Polypropylene Copolymer Coatings on Al Substrates for Enhanced Metal Adhesion and Protection
			2015B1870	BL46XU	久保 優吾	
			2016A5031	BL16XU	久保 優吾	
			2016B5030	BL16XU	久保 優吾	
			2019A5030	BL16XU	齋藤 吉広	
			2019B5030	BL16XU	上村 重明	

ACS Chemical Neuroscience

43373	Yusuke Kageyama	12 (2021) 3418-3432	2021A2750	BL45XU	入江 一浩	Characterization of a Conformation-Restricted Amyloid β Peptide and Immunoreactivity of Its Antibody in Human AD Brain
-------	-----------------	------------------------	-----------	--------	-------	--

ACS Energy Letters

43637	Kimihiko Ito	7 (2022) 2024-2028	2018B3642	BL14B1	久保 佳実	Operando Br K-Edge Dispersive X-ray Absorption Fine Structure Analysis for Br ⁻ /Br ₃ ⁻ Redox Mediator for Li-Air Batteries
-------	--------------	-----------------------	-----------	--------	-------	--

ACS Nano

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
43573	Makoto Suzuki	16 (2022) 6111-6117	2021A1103	BL40XU	松下 裕秀	The Largest Quasicrystalline Tiling with Dodecagonal Symmetry from a Single Pentablock Quarterpolymer of the AB ₁ CB ₂ D Type

ACS Sustainable Chemistry & Engineering

43549	Jun Jeffri Basa Lidasan	10 (2022) 2921-2929	2020A1081	BL01B1	田中 庸裕	Pure Hydrogen Production by Aqueous Ethanol Electrolysis on Pt-Ru-O Anodes in a Solid Polymer Electrolyte Electrolysis Cell
-------	-------------------------	------------------------	-----------	--------	-------	---

Advanced Composite Materials

43541	Shiryu Morita	(2022) Published online: 05 May 2022	2019B1838	BL46XU	上田 政人	Performance Assessment for Fiber Tracking of Unidirectional Carbon Fiber Reinforced Plastic by Digital Image Correlation of X-ray Computed-Tomography
			2018A1580	BL46XU	上田 政人	

Advanced Materials

43338	Ryojun Toyoda	34 (2022) 2106204	2019A1394	BL01B1	神谷 和秀	Heterometallic Benzenehexathiolato Coordination Nanosheets: Periodic Structure Improves Crystallinity and Electrical Conductivity
			理研	BL44B2		
			理研	BL05XU		

Advanced Optical Materials

43761	Ruilin Zheng	(2022) Online published 20 May 2022	2021B1413	BL08W	篠崎 健二	Self-Straining Nanocrystals Strategy: Temperature and Pressure Co-Induced Phase Transitions of CsPbBr ₃ in Amorphous Matrices
			2020A0701	BL08W	篠崎 健二	

American Mineralogist

43805	Kenta Oka	107 (2022) 1249-1253	2008B0099	BL10XU	廣瀬 敬	A Cotunnite-type New High-pressure Phase of Fe ₂ S
			2017A0072	BL10XU	廣瀬 敬	

Applied Catalysis B: Environmental

43730	Kenji Wachi	314 (2022) 121420	2021A1620	BL14B2	山口 和也	Selective Oxidation of Methane into Formaldehyde and Carbon Monoxide Catalyzed by Supported Thermally Stable Iron Oxide Subnanoclusters Prepared from a Diiron-introduced Polyoxometalate Precursor
-------	-------------	----------------------	-----------	--------	-------	---

Applied Surface Science

43681	Fumihiko Ozaki	593 (2022) 153313	2020A7481	BL07LSU	吉信 淳	Functionalization of the MoS ₂ Basal Plane for Activation of Molecular Hydrogen by Pd Deposition
			2021A7426	BL07LSU	吉信 淳	

Biochimica et Biophysica Acta - Biomembranes

43635	Hiromitsu Nakazawa	1864 (2022) 183933	2019B1283	BL40B2	中沢 寛光	Low-flux Electron Diffraction Study on Body Site Dependence of Stratum Corneum Structures in Human Skin
			2020A1419	BL40B2	中沢 寛光	
			2021A1398	BL40B2	中沢 寛光	
			2020A7202	BL03XU	中沢 寛光	

Biophysical Reviews

43649	Marius Schmidt	13 (2021) 1191-1197	2016B8005	BL3	Schmidt Marius	Macromolecular Movies, Storybooks Written by Nature
-------	----------------	------------------------	-----------	-----	----------------	---

Bioscience, Biotechnology and Biochemistry

43452	Yusuke Nakamichi	86 (2022) 855-864	2019A6930	BL44XU	中道 優介	Crystal Structure of Glycoside Hydrolase Family 31 α -xylosidase from a Soil Metagenome
			2019B6930	BL44XU	中道 優介	

Carbohydrate Polymers

43467	Aika Kishimoto	290 (2022) 119491	2020A1132	BL40B2	寺尾 憲	Molecular Structure and Chiral Recognition Ability of Highly Branched Cyclic Dextrin Carbamate Derivative
-------	----------------	----------------------	-----------	--------	------	---

Catalysis Science & Technology

43552	Takeshi Nagata	12 (2022) 2749-2754	2021A1165	BL01B1	織田 晃	High Pt-Mass Activity of Pt ^v / β -MnO ₂ Surface for Low-Temperature Oxidation of CO under O ₂ -Rich Conditions
			2021B1691	BL01B1	織田 晃	

Cell Reports Physical 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
43454	Xiao-Xin Gao	3 (2022) 100848	2019B1808	BL46XU	柴山 直之	Halide Exchange in the Passivation of Perovskite Solar Cells with Functionalized Ionic Liquids

ChemCatChem

43721	Soichi Kikkawa	14 (2022) e202101723	2017B1958	BL01B1	加藤 和男	Formation of CH ₄ at the Metal-Support Interface of Pt/Al ₂ O ₃ During Hydrogenation of CO ₂ : Operando XAS-DRIFTS Study
			2018A2070	BL01B1	加藤 和男	
			2018B2110	BL01B1	加藤 和男	
			2019A1447	BL01B1	寺村 謙太郎	
			2019A2066	BL01B1	加藤 和男	
			2019B1761	BL01B1	吉川 聡一	

Chemical Geology

43745	Jing Sun	604 (2022) 120943	2020A0174	BL37XU	高橋 嘉夫	New Insights into the Distribution and Speciation of Nickel in a Myanmar Laterite
-------	----------	----------------------	-----------	--------	-------	---

Chemistry - A European Journal

43753	Daisuke Saito	28 (2022) e202200703	2020A0532	BL02B1	西堀 英治	Reversible and Stepwise Single-Crystal-to-Single-Crystal Transformation of a Platinum(II) Complex with Vapochromic Luminescence
			2019A0159	BL02B1	西堀 英治	
			2021B1140	BL02B1	西堀 英治	

Chemistry - An Asian Journal

43299	Taisuke Matsuno	17 (2022) e202200076	2020A1190	BL26B1	松野 太輔	Activation of Positive Cooperativity by Size-Mismatch Assembly via Inclination of Guests in a Single-Site Receptor
-------	-----------------	-------------------------	-----------	--------	-------	--

ChemPhysChem

43538	Takahisa Omata	23 (2022) e202100840	2019A2058	BL04B2	尾原 幸治	Anhydrous Silicophosphoric Acid Glass: Thermal Properties and Proton Conductivity
			2019B2091	BL04B2	尾原 幸治	

Chinese Journal of Physics

43306	An-Lun Chin	65 (2020) 24-32	2018B1044	BL29XU	Hwu Yeu Kuang	A Synchrotron X-ray Imaging Strategy to Map Large Animal Brains
-------	-------------	--------------------	-----------	--------	---------------	---

Chinese Physics B

43445	Zhe Zhang	31 (2022) 036802	2019A1249	BL04B2	Chen Yanna	High-energy X-ray Diffraction Study on Phase Transition Asymmetry of Plastic Crystal Neopentylglycol
-------	-----------	---------------------	-----------	--------	------------	--

Communications Biology

43844	Yuko Makino	5 (2022) 619	2021B2560	BL41XU	林 宏典	Serine Hydroxymethyltransferase as a Potential Target of Antibacterial Agents Acting Synergistically with One-carbon Metabolism-related Inhibitors
			理研	BL32XU		

Communications Chemistry

43396	Kazuhiro Hikima	5 (2022) 52	2017B7610	BL28XU	松原 英一郎	Operando Analysis of Electronic Band Structure in an All-Solid-State Thin-Film Battery
			2018A7610	BL28XU	松原 英一郎	
			2018B7610	BL28XU	松原 英一郎	
			2019A7616	BL28XU	安部 武志	
			2019B7616	BL28XU	安部 武志	
			2020A7616	BL28XU	安部 武志	

Condensed Matter

43301	Masashi Tanaka	7 (2022) 33	2020A1670	BL25SU	片岡 範行	Superconductivity in the α -Form Layer Structured Metal Nitride Halide
			2019B1454	BL25SU	横谷 尚睦	

Crystal Growth & Design

43734	Hayato Sumi	22 (2022) 3708-3718	2019A1576	BL40B2	田川 美穂	Designing a High-Crystallinity Nano-Gapped Particle Superlattice via DNA-Guided Colloidal Crystallization and Dehydration
			2019B1586	BL40B2	田川 美穂	
			2020A1569	BL40B2	田川 美穂	

CrystEngComm

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
43708	Yuto Higuchi	24 (2022) 3859-3864	2020A1094	BL02B2	田中 俊輔	OSDA-free and Steam-assisted Synthesis of PHI Type Zeolite Showing a Unique CO ₂ Adsorption Behaviour

e-Journal of Surface Science and Nanotechnology

43702	Toshihide Sumi	20 (2022) 31-35	2021A8024	BL1	堀尾 眞史	Separating Non-linear Optical Signals of a Sample from High Harmonic Radiation in a Soft X-ray Free Electron Laser
-------	----------------	--------------------	-----------	-----	-------	--

Electrocatalysis

43387	Jun Maruyama	13 (2022) 219-229	2018B1775	BL14B2	丸山 純	Graphitic Carbon Materials with Various Nanostructures Decorated with Fe-N-C Catalytically Active Sites for Air Electrodes
-------	--------------	----------------------	-----------	--------	------	--

Electrochemistry Communications

43553	Yumi Katasho	138 (2022) 107287	2020A1114	BL28B2	片所 優宇美	<i>In situ</i> X-ray Diffraction Analysis of Electrochemical Dy-Ni Alloying in Molten LiCl-KCl
			2021A1313	BL28B2	片所 優宇美	
			2021B1384	BL28B2	片所 優宇美	

eLife

43570	Xing Wang	11 (2022) e74716	2019A1425	BL47XU	小宮 剛	Muscle Systems and Motility of Early Animals Highlighted by Cnidarians from the Basal Cambrian
-------	-----------	---------------------	-----------	--------	------	--

Energy & Environmental Science

43626	Kosuke Kawai	15 (2022) 2591-2600	2020A7474	BL07LSU	大久保 將史	Kinetic Square Scheme in Oxygen-redox Battery Electrodes
			2019B7456	BL07LSU	大久保 將史	
			2019A7452	BL07LSU	大久保 將史	
			2018B7590	BL07LSU	大久保 將史	
			2018A7560	BL07LSU	大久保 將史	
			2018B1514	BL27SU	須田山 貴亮	
			2018A1359	BL27SU	須田山 貴亮	
			2017B1328	BL27SU	須田山 貴亮	
2016B1503	BL27SU	須田山 貴亮				

Environmental Science and Technology

43300	Paul Clarence M. Francisco	56 (2022) 3011-3020	2020A3714	BL22XU	Francisco Paul Clarence	Selenide [Se(-II)] Immobilization in Anoxic, Fe(II)-Rich Environments: Coprecipitation and Behavior during Phase Transformations
			2019A3609	BL14B1	松村 大樹	
			2020A3609	BL14B1	松村 大樹	

The FASEB Journal

43384	Suk-Kyeong Jung	24 (2010) 560-569	2007B1426	BL38B1	Jeong DaeGwin	Crystal Structure of ED-Eya2: Insight into Dual Roles as a Protein Tyrosine Phosphatase and a Transcription Factor
-------	-----------------	----------------------	-----------	--------	---------------	--

The FEBS Journal

43432	Takafumi Itoh	287 (2019) 2524-2543	2019A2713	BL26B1	日弁 隆雄	Structural Insights into Substrate Recognition and Catalysis by Glycoside Hydrolase Family 87 α -1,3-glucanase from <i>Paenibacillus glycanilyticus</i> FH11
			2018B2545	BL38B1	伊藤 貴文	
			2018B2545	BL38B1	伊藤 貴文	
			2016B2722	BL26B1	伊藤 貴文	
2017A2528	BL26B2	伊藤 貴文				

Frontiers in Ecology and Evolution

43759	Tatsuya Hirasawa	9 (2021) 679633	2019B1269	BL20B2	Cupello Camila	Development of the Pectoral Lobed Fin in the Australian Lungfish <i>Neoceratodus forsteri</i>
-------	------------------	--------------------	-----------	--------	----------------	---

Geochimica et Cosmochimica Acta

43748	Hai-bo Qin	294 (2021) 255-272	2020A0174	BL37XU	高橋 嘉夫	Scandium Immobilization by Goethite: Surface Adsorption versus Structural Incorporation
-------	------------	-----------------------	-----------	--------	-------	---

International Journal of Heat and Mass Transfer

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
43359	Wataru Yoshimune	191 (2022) 122887	2017A7032	BL33XU	長井 康貴	A Simple Method to Measure Through-plane Effective Gas Diffusivity of a Gas Diffusion Layer for Polymer Electrolyte Fuel Cells
			2017B7032	BL33XU	長井 康貴	
			2018B7032	BL33XU	長井 康貴	
			2019A7032	BL33XU	山口 聡	

International Journal of Molecular Sciences

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
43587	Riku Kawasaki	23 (2022) 4686	2021A1065	BL40B2	西村 智貴	Theranostic Agent Combining Fullerene Nanocrystals and Gold Nanoparticles for Photoacoustic Imaging and Photothermal Therapy

Journal of Alloys and Compounds

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
43380	Martina Vrankic	894 (2022) 162444	2018B4141	BL12B2	Ding Yang	Pressure-induced and Flaring Photocatalytic Diversity of ZnO Particles Hallmarked by Finely Tuned Pathways

Journal of Chemical 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
43633	Mina Sakuragi	45 (2021) 649-654	2019A1225	BL40B2	櫻木 美菜	Self-standing Magnetic Composite Nanosheets Prepared in the Presence of an External Magnetic Field: Characterization and Potential for Medical Applications

Journal of Crystal Growth

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
			2016A1003	BL13XU	若林 裕助	
			2017B3584	BL11XU	成塚 重弥	
			2018A3588	BL11XU	成塚 重弥	
			2018B3588	BL11XU	成塚 重弥	
			2019A3589	BL11XU	成塚 重弥	
2019B3587	BL11XU	成塚 重弥				

Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
43709	Satoru Suzuki	257 (2022) 147192	2020A3231	BL24XU	住田 弘祐	Effects of Sample-aperture Cone Distance on the Environmental Charge Compensation in Near-ambient Pressure Hard X-ray Photoemission Spectroscopy

Journal of Energy 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
			2019A1496	BL02B2	張 志剛	
			2019B1096	BL02B2	張 志剛	
2020A1430	BL02B2	張 志剛				

Journal of Fiber Science and Technology

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
43703	Ryuji Hirase	78 (2022) 89-95	2020A1421	BL40B2	湯口 宣明	Dispersion Characteristics of Cellulose Nanocrystals in Water and Ethanol Using Small-Angle X-Ray Scattering and Scanning Probe Microscopy

Journal of Geophysical Research: Solid Earth

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
43803	Shoh Tagawa	127 (2022) e2022JB024365	2017A0072	BL10XU	廣瀬 敬	High-Pressure Melting Curve of FeH: Implications for Eutectic Melting between Fe and Non-Magnetic FeH

Journal of Hazardous Materials 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
43559	Owen P. Missen	3 (2022) 100053	2021A1077	BL37XU	Brugger Joel	Natural Nanoparticles of the Critical Element Tellurium

Journal of Inorganic Biochemistry

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
			2017B6757	BL44XU	村木 則文	
			2018A6853	BL44XU	村木 則文	
			2018B6853	BL44XU	村木 則文	
			2019A6953	BL44XU	村木 則文	
2020A6551	BL44XU	村木 則文				

Journal of Low Temperature 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
43292	Akira Yamaguchi	(2022) Online published 29 Jan. 2022	2020A0599	BL13XU	山口 明	Structural Study of Adsorbed Helium Films: New Approach with Synchrotron Radiation X-rays
			2020A2045	BL13XU	田尻 寛男	
			2020A2137	BL13XU	田尻 寛男	
			2021A1142	BL13XU	山口 明	
			2021A2070	BL13XU	田尻 寛男	

Journal of Molecular Biology

43854	Soun Kanada	413 (2011) 162-176	2009A1241	BL38B1	神山 勉	Crystal Structures of an O-Like Blue Form and an Anion-Free Yellow Form of <i>pharaonis</i> Halorhodopsin
			2009A1022	BL26B2	神山 勉	

Journal of Molecular Liquids

43317	Jun Shirai	350 (2022) 118567	2018B1360	BL04B2	馬渡 和真	Water Structure in 100 nm Nanochannels Revealed by Nano X-ray Diffractometry and Raman Spectroscopy
-------	------------	----------------------	-----------	--------	-------	---

Journal of Molecular Structure

43457	Naoki Fujimoto	1259 (2022) 132721	2017B1414	BL38B1	片桐 幸輔	Investigating the Synthesis and Structure of [2]pseudorotaxanes Assembled by Crown ether as Wheel Component and Dual-cation Axle with Phosphonium and Ammonium Cations
-------	----------------	-----------------------	-----------	--------	-------	--

Journal of Non-Crystalline Solids: X

43697	Anders Nilsson	14 (2022) 100095	2015A8038	BL3	Nilsson Anders	Origin of the Anomalous Properties in Supercooled Water Based on Experimental Probing inside "no-man's land"
-------	----------------	---------------------	-----------	-----	----------------	--

Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry

43426	Hiroshi Isobe	405 (2021) 112905	2018A8037	BL2	沈 建仁	Exploring Reaction Pathways for the Structural Rearrangements of the Mn Cluster Induced by Water Binding in the S ₃ State of the Oxygen Evolving Complex of Photosystem II
			2018B8029	BL2	沈 建仁	
			2019A8032	BL2	沈 建仁	
			2019B8028	BL2	沈 建仁	
			2020A8059	BL2	沈 建仁	

The Journal of Physical Chemistry B

43845	Yuka Ikemoto	126 (2022) 4143-4151	2018B1243	BL43IR	村上 大樹	Infrared Spectra and Hydrogen-Bond Configurations of Water Molecules at the Interface of Water-Insoluble Polymers under Humidified Conditions
			2018B0938	BL43IR	若林 裕助	
			2020A1315	BL43IR	池本 夕佳	
			2020A1756	BL43IR	池本 夕佳	
			2020A1779	BL43IR	池本 夕佳	
			2021A1488	BL43IR	池本 夕佳	
			2021B1363	BL43IR	池本 夕佳	
			2021A1476	BL43IR	池本 夕佳	
2021B1628	BL43IR	池本 夕佳				

Journal of Physics: Conference Series

43650	Sergey Makarov	1787 (2021) 012027	2019A8037	BL3	Koenig Michel	X-ray Radiography Based on the Phase-contrast Imaging with using LiF Detector
			2019B8057	BL3	Albertazzi Bruno	

Journal of Power Sources

43438	Kenji Sato	535 (2022) 231399	2017A1004	BL04B2	松原 英一郎	Non-destructive Observation of Plated Lithium Distribution in a Large-Scale Automobile Li-ion Battery using Synchrotron X-ray Diffraction
			2017B1431	BL04B2	松原 英一郎	
			2018A2048	BL04B2	尾原 幸治	
			2018B1022	BL04B2	松原 英一郎	
			2019A1008	BL04B2	松原 英一郎	

Journal of Robotics and Mechatronics

43751	Hiroaki Yoshizawa	34 (2022) 310-315	2017A1613	BL40XU	上原 宏樹	<i>In-Situ</i> X-Ray Analyses of Structural Change During Drawing and Shrinking of Linear Low-Density Polyethylene Film
			2017B1591	BL40XU	上原 宏樹	

The Journal of Supercritical Fluids

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
43647	Kohei Yamanoi	184 (2022) 105555	2018B1837	BL19B2	森田 剛	Structure Disorder Observation of Fluoropolymers Composed of Vinylidene Fluoride and Tetrafluoroethylene in Supercritical CO ₂ using Time-resolved Small- and Wide-angle X-ray Scattering
			2018A3401	BL08B2	森田 剛	

Journal of the American Ceramic Society

43318	HyeonSeok Jee	103 (2020) 7188-7201	2017A3782	BL22XU	裴 晟哲	Determination of Atomistic Deformation of Tricalcium Silicate Paste with High-volume Fly Ash
-------	---------------	-------------------------	-----------	--------	------	--

Journal of the Ceramic Society of Japan

43811	Kyoko Okada	130 (2022) S1-S6	2015B1520	BL27SU	岡田 京子	Needle-like Forms with a Few Tens of Nanometer in Diameter and More than a Few Tens of Micrometer Length, and Specific Oxygen State during In-flight Glass Melting
-------	-------------	---------------------	-----------	--------	-------	--

Journal of The Electrochemical Society

43434	Hikaru Ohara	169 (2022) 042507	2019A1629	BL20XU	小林 正和	Electrochemically Fabricated SrGa ₂ S ₄ :Eu/ZnO-Vertical Nanowire Bilayer Scintillator for X-ray Imaging
-------	--------------	----------------------	-----------	--------	-------	--

Journal of the Royal Society Interface

43737	Noriyuki Isobe	19 (2022) 20220120	2021A1240	BL40B2	磯部 紀之	Uniaxial Orientation of β -chitin Nanofibres used as an Organic Framework in the Scales of a Hot Vent Snail
-------	----------------	-----------------------	-----------	--------	-------	---

Materials

43760	Ruilin Zheng	15 (2022) 1678	2021B1413	BL08W	篠崎 健二	Effect of Glass Composition on Luminescence and Structure of CsPbBr ₃ Quantum Dots in an Amorphous Matrix
-------	--------------	-------------------	-----------	-------	-------	--

Materials Letters

43560	Jae-Kyung Han	321 (2022) 132414	2018B1219	BL02B1	Liss Klaus Dieter	Strain-dependent Phase Transformation Mapping of Diffusion-bonded Nanocrystalline Aluminum-magnesium by High-energy Synchrotron X-rays
-------	---------------	----------------------	-----------	--------	-------------------	--

Materials Today Communications

43327	Riki Kataoka	31 (2022) 103265	2020A3690	BL14B1	片岡 理樹	The Origin of the Highly Crystallized Face-centered Cubic YH ₃ High-pressure Phase when Quenched to Ambient Condition
-------	--------------	---------------------	-----------	--------	-------	--

Materials Transactions

43469	Tetsu Watanuki	62 (2021) 338-341	2012B3701	BL22XU	綿貫 徹	Pressure-Volume Relationship of a Au-Al-Yb Intermediate Valence Quasicrystal and Its Crystalline Approximant
			2013A3701	BL22XU	綿貫 徹	
			2013B3701	BL22XU	綿貫 徹	

Matter and Radiation Extremes

43451	Naohisa Hirao	7 (2022) 038403	2005B0272	BL10XU	平尾 直久	Equations of State of Iron and Nickel to the Pressure at the Center of the Earth
			2005B0307	BL04B2	川村 春樹	
			2006A1077	BL04B2	川村 春樹	
			2006A1307	BL10XU	平尾 直久	
			2006A1792	BL10XU	大石 泰生	
			2007A1277	BL10XU	平尾 直久	
			2007A1286	BL04B2	平尾 直久	
			2008B1247	BL10XU	赤浜 裕一	
			2009A1444	BL10XU	平尾 直久	
			2018B1144	BL10XU	赤浜 裕一	
2020A1194	BL10XU	赤浜 裕一				

Membranes

43599	Shinya Hanashima	11 (2021) 823	2021A8504	BL2	溝端 栄一	Heavy Atom Detergent/Lipid Combined X-ray Crystallography for Elucidating the Structure-Function Relationships of Membrane Proteins
-------	------------------	------------------	-----------	-----	-------	---

Minerals

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
43742	Sachika Natori	12 (2022) 536	2021A1449	BL37XU	高橋 嘉夫	High-Energy Resolution Fluorescence Detected X-ray Absorption Spectroscopy for the Speciation of Fe in Aerosol Samples
			2021A2072	BL39XU	河村 直己	
			2020A0174	BL01B1	高橋 嘉夫	
			2021B1625	BL37XU	高橋 嘉夫	
			2021B2090	BL39XU	河村 直己	
2022A1507	BL39XU	高橋 嘉夫				

Molecular Catalysis

43544	Yoshinao Nakagawa	523 (2022) 111208	2019A1825	BL14B2	浅野 壮宏	One-pot Production of Dioctyl Ether from 1,2-octanediol over Rutile-titania-supported Palladium-tungsten Catalyst
			2019B1325	BL01B1	奥村 和	
			2019B1435	BL01B1	奥村 和	

Nano Letters

43704	Akihiro Suzuki	22 (2022) 4603-4607	2017A8006	BL2	西野 吉則	Femtosecond X-ray Laser Reveals Intact Sea-Island Structures of Metastable Solid-State Electrolytes for Batteries
			2017B8061	BL2	西野 吉則	
			2018A8041	BL2	山重 寿夫	
			2018B8800	BL2	山重 寿夫	
			2019A8024	BL2	山重 寿夫	

Nanoscale

43683	Shinya Masuda	14 (2022) 3031-3039	2020A0672	BL01B1	増田 晋也	Synthesis of Active, Robust and Cationic Au ₂₅ Cluster Catalysts on Double Metal Hydroxide by Long-term Oxidative Aging of Au ₂₅ (SR) ₁₈
			2021A1200	BL01B1	増田 晋也	

Nature Reviews Earth & Environment

43817	Kei Hirose	2 (2021) 645-658	2017A0072	BL10XU	廣瀬 敬	Light Elements in the Earth's Core
-------	------------	---------------------	-----------	--------	------	------------------------------------

npj Asia Materials

43439	Yusaku Kawai	14 (2022) 32	2021A1593	BL40B2	河合 優作	Preparation of Dual-cross Network Polymers by the Knitting Method and Evaluation of Their Mechanical Properties
-------	--------------	-----------------	-----------	--------	-------	---

Nuclear Materials and Energy

43304	Hiroshi Sakurai	31 (2022) 101171	2020A1697	BL08W	尾崎 豪嗣	Development of Non-destructive Testing (NDT) Technique for HIPed Interface by Compton Scattering X-ray Spectroscopy
			2021A1562	BL08W	桜井 浩	

OSA Technical Digest

43303	Thomas Penfold	(2016) UF1A.6	2014B8039	BL3	Milne Christopher	Femtosecond X-ray Absorption and Emission Spectroscopy on ZnO Nanoparticles in Solution
-------	----------------	---------------	-----------	-----	-------------------	---

Physical Review E

43440	So Kitsunezaki	105 (2022) 044902	2018B1477	BL20B2	狐崎 創	X-ray Computerized Tomography Observation of Lycopodium Paste Incorporating Memory of Shaking
			2019B1150	BL20B2	狐崎 創	

Physical Review Letters

43754	Ichiro Inoue	128 (2022) 223203	2018A8040	BL3	井上 伊知郎	Delayed Onset and Directionality of X-Ray-Induced Atomic Displacements Observed on Subatomic Length Scales
-------	--------------	----------------------	-----------	-----	--------	--

Physical Review Research

43302	Edwin Kukk	3 (2021) 013221	2018B8014	BL1	Kukk Edwin	Formative Period in the X-ray-induced Photodissociation of Organic Molecules
-------	------------	--------------------	-----------	-----	------------	--

Physics of the Earth and Planetary Interiors

43554	Tomohiro Ohuchi	326 (2022) 106865	2021A1124	BL04B1	大内 智博	Grain-size-sensitive Creep of Olivine Induced by Oxidation of Olivine in the Earth's Deep Upper Mantle: Implications for Weakening of the Subduction Interface
			2019A0069	BL04B1	河野 義生	
			2019A1731	BL04B1	大内 智博	
			2019B1115	BL04B1	大内 智博	

Polar 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
43847	Takaaki Noguchi	29 (2021) 100727	2019A0165	BL47XU	土山 明	Mineralogy of Fine-grained Matrix, Fine-grained Rim, Chondrule Rim, and Altered Mesostasis of a Chondrule in Asuka 12169, One of the Least Altered CM Chondrites

Polymer Journal

43632	Mina Sakuragi	53 (2021) 1335-1344	2017B1216	BL40B2	櫻木 美菜	Evaluation of the Supramolecular Structure of Drug Delivery Carriers using Synchrotron X-ray Scattering
			2018B1424	BL40B2	櫻木 美菜	
			2019A1225	BL40B2	櫻木 美菜	

Precambrian Research

43388	Motoko Igisu	373 (2022) 106628	2019A1109	BL43IR	伊規須 素子	Spatial Distribution of Organic Functional Groups in Ediacaran Acritarchs from the Doushantuo Formation in South China as Revealed by Micro-FTIR Spectroscopy
			2020A1145	BL43IR	伊規須 素子	

Proceedings of Suzaku-MAXI 2014: Expanding the Frontiers of the X-ray Universe

43616	Kenta Kaneko	(2014) 162-163	2013B1194	BL25SU	幸村 孝由	X-ray Transmission Measurement of Contamination Blocking Filter for SXI onboard ASTRO-H
-------	--------------	----------------	-----------	--------	-------	---

RSC Advances

43603	E. V. Johnstone	10 (2020) 25116-25124	2018A3609	BL14B1	松村 大樹	Synthesis and Characterization of Iodovanadinite using PdI ₂ , an Iodine Source for the Immobilisation of Radioiodine
-------	-----------------	--------------------------	-----------	--------	-------	--

SAE Technical Paper

43607	Hirohisa Tanaka	(2022) 2022-01-0534	2016A1418	BL28B2	松村 大樹	An Automotive Intelligent Catalyst that Contributes to Hydrogen Safety for the Decommissioning of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station (1FD)
			2016A3609	BL14B1	松村 大樹	
			2016B1466	BL28B2	松村 大樹	
			2016B3609	BL14B1	松村 大樹	

Science

43646	Ilya Belopolski	365 (2019) 1278-1281	2017A1669	BL25SU	Belopolski Ilya	Discovery of Topological Weyl Fermion Lines and Drumhead Surface States in a Room Temperature Magnet
-------	-----------------	-------------------------	-----------	--------	-----------------	--

Science and Technology of Advanced Materials

43375	Masatomo Sumiya	23 (2022) 189-198	2018A3801	BL23SU	吉越 章隆	High Reactivity of H ₂ O Vapor on GaN Surfaces
			2019A3801	BL23SU	吉越 章隆	
			2019B3801	BL23SU	吉越 章隆	
			2018A3834	BL23SU	角谷 正友	
			2019B3837	BL23SU	角谷 正友	
			2020A3801	BL23SU	吉越 章隆	
			2021A3801	BL23SU	吉越 章隆	
			2021A3837	BL23SU	角谷 正友	

Science of The Total Environment

43746	Yuka Yokoyama	802 (2022) 149221	2019A1523	BL37XU	高橋 嘉夫	The Uptake of Selenite in Calcite Revealed by X-ray Absorption Spectroscopy and Quantum Chemical Calculations
			2019A1498	BL40XU	佐々木 裕次	
			2020A3740	BL22XU	高橋 嘉夫	
			2020A0174	BL01B1	高橋 嘉夫	

Solid State Ionics

43719	Tetsuhiro Katsumata	380 (2022) 115921	2017B1133	BL02B2	勝又 哲裕	Synthesis and Ionic Conductivity of Li Boracites, Li ₄ B ₇ O ₁₂ Cl and Li ₄ B ₄ Al ₃ O ₁₂ Cl _{1-x} Br _x
			2020A1393	BL02B2	稲熊 直之	

Tetrahedron Letters

43406	Yuzuka Onaka	96 (2022) 153774	2021A1061	BL26B1	松野 太輔	A Large-bore Chiral Cylindrical Molecule Prone to Radial Deformations
-------	--------------	---------------------	-----------	--------	-------	---

自動車技術会論文集 (Transactions of the Society of Automotive Engineers of Japan)

43449	Kentaro Inoue	51 (2020) 422-427	2018B3738	BL22XU	池田 知廣	Fatigue Life Prediction of Motor Rotor Considering Influence of Die-cutting on Electrical Steel
			2016A3789	BL22XU	井上 健太郎	

しょうとつ (原子衝突学会誌, Journal of Atomic Collision 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
43687	Kiyoshi Ueda	18 (2021) 69-78	2012A8036	BL3	上田 潔	X線自由電子レーザーの高強度・極短X線パルス照射が誘起する原子・分子・クラスター内超高速電子・分子ダイナミクス
			2012B8045	BL3	上田 潔	

日本物理学会誌 (Butsuri)

43337	Takaya Mitsui	77 (2022) 23-28	2017A3551	BL11XU	三井 隆也	Direct Observation of Magnetic Friedel Oscillation at the Fe (001) Surface
			2017B3551	BL11XU	三井 隆也	
			2018A3552	BL11XU	三井 隆也	
			2018B3551	BL11XU	境 誠司	
			2018B3552	BL11XU	三井 隆也	
			2019A3551	BL11XU	境 誠司	

放射光 (Journal of the Japanese Society for Synchrotron Radiation Research)

43715	Susumu Yamamoto	35 (2022) 182-190	2017A7532	BL07LSU	山本 達	Operando Measurements of Catalytic Surface Reactions by Soft X-ray Ambient Pressure XPS
			2017B7549	BL07LSU	山本 達	
			2018A7564	BL07LSU	山本 達	
			2018B7582	BL07LSU	山本 達	
			2019A7591	BL07LSU	山本 達	
			2019B7461	BL07LSU	山本 達	
			2020A7401	BL07LSU	山本 達	
			2021A7401	BL07LSU	山本 達	
			2021B7401	BL07LSU	山本 達	
			2018A7568	BL07LSU	小坂谷 貴典	
			2018B7583	BL07LSU	小坂谷 貴典	
			2016A7401	BL07LSU	吉信 淳	
			2016B7401	BL07LSU	吉信 淳	
			2017A7401	BL07LSU	吉信 淳	
			2017B7401	BL07LSU	吉信 淳	
			2015A7491	BL07LSU	吉信 淳	
			2015B7496	BL07LSU	吉信 淳	
			2014B7479	BL07LSU	吉信 淳	

膜 (Membrane)

43429	Takatoshi Yamada	47 (2022) 92-97	2019A3836	BL23SU	小川 修一	Oxygen Gas Barrier Property of Monolayer CVD Graphene
			2019B3801	BL23SU	吉越 章隆	
			2020A3801	BL23SU	吉越 章隆	
			2021A3801	BL23SU	吉越 章隆	

博士論文 (大阪大学)

43427	Yusuke Ohnishi	(2020)	2019A8073	BL2	栗栖 源嗣	Redox-dependent Conformational Change of the [2Fe-2S] Ferredoxin Revealed by Ultra-high Resolution X-ray Crystallography
43786	Masamitsu Takahashi	(2022)	2021A5050	BL16XU	出口 博史	金属化合物を添加した塗膜を有する鋼材の大気腐食挙動に関する研究
			2020A5351	BL16B2	出口 博史	
			2020A5050	BL16XU	出口 博史	
			2019B5050	BL16XU	出口 博史	
			2019A5050	BL16XU	出口 博史	

博士論文 (京都大学)

43305	Daichi Kato	(2020)	2018B1163	BL02B2	陰山 洋	Crystal and Band Structure Control of Layered Oxyhalide Photocatalysts
43690	Akinobu Niozu	(2021)	2016A8057	BL3	上田 潔	Ultrafast X-ray Diffraction with an XFEL: Probing Transient Structures of Nanoparticles
			2016B8077	BL3	上田 潔	
			2018B8063	BL3	上田 潔	

博士論文 (東京大学)

43425	Surachada Chuaychob	(2020)	2019A1291	BL40B2	藤田 雅弘	A Biosensing Platform Based on G-Quadruplex DNA-Functionalized Gold Nanoparticles
43728	Hiroki Yamada	(2019)	2017A1657	BL13XU	山田 大貴	Structural Analysis of Amorphous Precursors during the Crystallization of Zeolites using High Energy X-ray and Neutron Total Scattering

博士論文 (滋賀県立医科大学)

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
43394	Yusuke Kageyama	(2022)	2021A2750	BL45XU	入江 一浩	Characterization of a Conformation-Restricted Amyloid β Peptide and Immunoreactivity of Its Antibody in Human AD Brain

博士論文 (広島大学)

43572	Kazuki Sumida	(2019)	2013B4910	BL15XU	木村 昭夫	Spin-Dependent Electronic Structures and Ultrafast Carrier Dynamics of Novel Functional Materials
			2014A4903	BL15XU	木村 昭夫	
			2015A4907	BL15XU	木村 昭夫	
			2015B4906	BL15XU	木村 昭夫	
			2013B3880	BL23SU	木村 昭夫	
			2014A3880	BL23SU	木村 昭夫	
			2014B3880	BL23SU	木村 昭夫	
			2017A3842	BL23SU	木村 昭夫	

博士論文 (明治大学)

43787	Kazutoshi Yoshioka	(2022)	2019A1773	BL14B2	吉岡 和俊	Study on Evaluation of Lattice Strain and Atomic Vibration in the Nanoscopic Region of Silicon-based Group IV Alloy Semiconductors using Synchrotron Radiation X-rays
			2019A1828	BL19B2	吉岡 和俊	
			2019B1802	BL14B2	吉岡 和俊	
			2019B1905	BL19B2	吉岡 和俊	
			2020A1748	BL19B2	吉岡 和俊	
			2020A1849	BL19B2	吉岡 和俊	
			2020A1904	BL19B2	吉岡 和俊	
			2021A1661	BL14B2	吉岡 和俊	
			2021B1843	BL19B2	吉岡 和俊	
			2018A1801	BL14B2	君島 堅一	
			2019A1815	BL14B2	渡辺 剛	
			2019B1723	BL14B2	渡辺 剛	
			2020A1631	BL19B2	渡辺 剛	
			2021A2034	BL14B2	渡辺 剛	
2021A2031	BL19B2	渡辺 剛				
			2021B1895	BL19B2	渡辺 剛	

課題以外の成果として登録された論文

The Journal of Biological Chemistry

研究成果番号	主著者	雑誌情報		ビームライン	タイトル
43408	Kengo Yasuhira	285 (2010) 1239-1248		BL38B1	X-ray Crystallographic Analysis of the 6-Aminohexanoate Cyclic Dimer Hydrolase
				BL41XU	
43462	Tamami Uejima	285 (2010) 36689-36697		BL41XU	GDP-bound and Nucleotide-free Intermediates of the Guanine Nucleotide Exchange in the Rab5-Vps9 System
43612	Iitaru Yanagihara	285 (2010) 16267-16274		BL41XU	Structure and Functional Characterization of <i>Vibrio parahaemolyticus</i> Thermostable Direct Hemolysin
43622	Xiaoqiu Yuan	285 (2010) 28953-28958		BL41XU	Single Amino Acid Alteration between Valine and Isoleucine Determines the Distinct Pyrabactin Selectivity by PYL1 and PYL2
43623	Zui Fujimoto	285 (2010) 34134-34143		BL41XU	Crystal Structure of an Exo-1,5- α -L-arabinofuranosidase from <i>Streptomyces avermitilis</i> Provides Insights into the Mechanism of Substrate Discrimination between Exo- and Endo-type Enzymes in Glycoside Hydrolase Family 43
43724	Qi Hao	285 (2010) 28946-28952		BL41XU	Functional Mechanism of the Abscisic Acid Agonist Pyrabactin
43772	Kazuko Okumura-Ikeda	285 (2010) 18684-18692		BL44XU	Crystal Structure of Aminomethyltransferase in Complex with Dihydropolypyl-H-Protein of the Glycine Cleavage System: Implications for Recognition of Lipoyl Protein Substrate, Disease-Related Mutations, and Reaction Mechanism

Journal of Synchrotron Radiation

43430	Togo Kudo	29 (2022) 670-676	理研	BL05XU	An X-ray Beam Profile Monitoring System at a Beamline Front-end Combining a Single-crystal Diamond Film and Energy Discrimination using Droplet Analysis
43706	Ichiro Inoue	29 (2022) 862-865	装置&技術	BL3	Single-shot Spectrometer using Diamond Microcrystals for X-ray Free-electron Laser Pulses
43771	Mitsuhiro Masaki	28 (2021) 1758-1768	加速器	全般	Adaptive Feedforward Control of Closed Orbit Distortion Caused by Fast Helicity-switching Undulators

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
43385	Kimihiko Mizutani	66 (2010) 765-770		BL38B1	X-ray Analysis of Bilirubin Oxidase from <i>Myrothecium verrucaria</i> at 2.3 Å Resolution using a Twinned Crystal
43853	Shankar Prasad Kanaujia	67 (2011) 2-16	理研	BL26B2	Crystal Structures, Dynamics and Functional Implications of Molybdenum-cofactor Biosynthesis Protein MogA from Two Thermophilic Organisms

The FEBS Journal

43591	Kazuaki Yoshimune	277 (2010) 738-748		BL41XU	Crystal Structure of Salt-tolerant Glutaminase from <i>Micrococcus luteus</i> K-3 in the Presence and Absence of its Product L-glutamate and its Activator Tris
43770	Keizo Yamamoto	277 (2010) 4205-4214		BL44XU	Crystal Structures of Isomaltase from <i>Saccharomyces cerevisiae</i> and in Complex with its Competitive Inhibitor Maltose

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

43767	Akiyuki Nishimura	107 (2010) 13666-13671		BL41XU	Structural Basis for the Specific Inhibition of Heterotrimeric G _q Protein by a Small Molecule
43812	Kenji Mizutani	108 (2011) 13474-13479	理研	BL26B1	Structure of the Rotor Ring Modified with <i>N,N</i> -dicyclohexylcarbodiimide of the Na ⁺ -transporting Vacuolar ATPase
				BL41XU	

Acta Crystallographica Section D

43618	Kaoru Nishimura	66 (2010) 1295-1300		BL41XU	Role of Domains within the Autotransporter Hbp/Tsh
-------	-----------------	------------------------	--	--------	--

Biochemistry

43725	Atsuko Satoh	49 (2010) 6400-6410		BL41XU	Substrate-Induced Closing of the Active Site Revealed by the Crystal Structure of Pantothenate Synthetase from <i>Staphylococcus aureus</i>
				BL44XU	

Biophysical Journal

43768	Clint L. Makino	99 (2010) 2366-2373		BL41XU	Binding of More Than One Retinoid to Visual Opsins
-------	-----------------	------------------------	--	--------	--

Chemical Reviews

43537	Katelyn A. Kirchner	(2022) Online Published May 5, 2022		BL04B2	Beyond the Average: Spatial and Temporal Fluctuations in Oxide Glass-Forming Systems
-------	---------------------	---	--	--------	--

Crystal Growth & Design

43814	Michihiro Sugahara	11 (2011) 110-120	理研	BL26B1	Packing Space Expansion of Protein Crystallization Screening with Synthetic Zeolite as a Heteroepitaxial Nucleant
-------	--------------------	----------------------	----	--------	---

Drug Discovery Today: Technologies

43661	Gabriela Nass Kovacs	39 (2021) 101-110	XFEL		Potential of X-ray Free-electron Lasers for Challenging Targets in Structure-based Drug Discovery
-------	----------------------	----------------------	------	--	---

The EMBO Journal

43463	Shin-ichi Terawaki	29 (2010) 236-250		BL41XU	The PHCCEX Domain of Tiam1/2 is a Novel Protein- and Membrane-binding Module
-------	--------------------	----------------------	--	--------	--

Genes to Cells

43615	Kiyohiro Takahashi	15 (2010) 901-910		BL41XU	Ser386 Phosphorylation of Transcription Factor IRF-3 Induces Dimerization and Association with CBP/p300 without Overall Conformational Change
-------	--------------------	----------------------	--	--------	---

Icarus

43793	Yuhei Umeda	377 (2022) 114901	加速器	全般	Hugoniot and Released State of Calcite above 200 GPa with Implications for Hypervelocity Planetary Impacts
-------	-------------	----------------------	-----	----	--

IEEE Transactions on Electron Devices

研究成果番号	主著者	雑誌情報		ビームライン	タイトル
43685	Hiroya Shike	68 (2021) 2056-2063	XFEL		A Global Shutter Wide Dynamic Range Soft X-Ray CMOS Image Sensor With Backside-Illuminated Pinned Photodiode, Two-Stage Lateral Overflow Integration Capacitor, and Voltage Domain Memory Bank

Inorganic Chemistry

43402	Toshitaka Matsui	49 (2010) 3602-3609		BL38B1	Dioxygen Activation for the Self-Degradation of Heme: Reaction Mechanism and Regulation of Heme Oxygenase
-------	------------------	------------------------	--	--------	---

Journal of Applied Physics

43639	Aleksander Lyapin	126 (2019) 065102		BL14B1	Order versus Disorder: <i>In situ</i> High-pressure Structural Study of Highly Polymerized Three-dimensional C ₆₀ Fullerite
-------	-------------------	----------------------	--	--------	--

The Journal of Biochemistry

43383	Yoshihiro Yamaguchi	147 (2010) 905-915		BL38B1	Structure of Metallo- β -lactamase IND-7 from a <i>Chryseobacterium indologenes</i> Clinical Isolate at 1.65-Å Resolution
-------	---------------------	-----------------------	--	--------	---

Journal of Medicinal Chemistry

43723	Daisuke Tanaka	54 (2011) 851-857		BL41XU	A Practical Use of Ligand Efficiency Indices Out of the Fragment-Based Approach: Ligand Efficiency-Guided Lead Identification of Soluble Epoxide Hydrolase Inhibitors
-------	----------------	----------------------	--	--------	---

Journal of Molecular Biology

43592	Kinuyo Yamashita	396 (2010) 1081-1096		BL41XU	Substitution of Glu122 by Glutamine Revealed the Function of the Second Water Molecule as a Proton Donor in the Binuclear Metal Enzyme Creatininase
-------	------------------	-------------------------	--	--------	---

Kobe Journal of Medical Sciences

43613	Rieko Nishimasu	56 (2010) E125-E139		BL41XU	Crystal Structure of a PFU-PUL Domain Pair of <i>Saccharomyces Cerevisiae</i> Doa1/Ufd3
-------	-----------------	------------------------	--	--------	---

Molecular Cell

43458	Jennifer M. Doyle	39 (2010) 963-974		BL38B1	MAGE-RING Protein Complexes Comprise a Family of E3 Ubiquitin Ligases
-------	-------------------	----------------------	--	--------	---

Molecules and Cells

43401	Hun Kim	29 (2010) 397-405		BL38B1	Structural Basis for the Reaction Mechanism of UDP-glucose Pyrophosphorylase
-------	---------	----------------------	--	--------	--

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A

43686	Kyo Nakajima	1003 (2021) 165303	理研	BL29XU	Development of a Precise Evaluation Technique for the Pre-sampled Point Spread Function of X-ray Imaging Detectors with Sub-micrometer Resolution
			理研	BL19LXU	
			装置&技術		

Nucleic Acids Research

43625	Yusuke Nomura	38 (2010) 7822-7829		BL41XU	Conformational Plasticity of RNA for Target Recognition as Revealed by the 2.15 Å Crystal Structure of a Human IgG-aptamer Complex
				BL44XU	

Protein and Peptide Letters

43801	Masaki Tanaka	17 (2010) 1163-1169		BL44XU	Protein Core Adaptability: Crystal Structures of the Cavity-Filling Variants of Escherichia coli RNase HI
-------	---------------	------------------------	--	--------	---

Protein Science

43802	Nick C. Pace	19 (2010) 929-943		BL44XU	Urea Denatured State Ensembles Contain Extensive Secondary Structure that is Increased in Hydrophobic Proteins
-------	--------------	----------------------	--	--------	--

Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics

43407	Yuichiro Kezuka	78 (2010) 2295-2305		BL38B1	Structure of Full-length Class I Chitinase from Rice Revealed by X-ray Crystallography and Small-Angle X-ray Scattering
-------	-----------------	------------------------	--	--------	---

Review of Scientific Instruments

研究成果番号	主著者	雑誌情報		ビームライン	タイトル
43783	Kenji Fukami	93 (2019) 023301	加速器	全般	Iron Lamination and Interlaminar Insulation for High-Frequency Pulsed Magnets

Structure

43617	Ken Kitano	18 (2010) 177-187		BL41XU	Structural Basis for DNA Strand Separation by the Unconventional Winged-Helix Domain of RecQ Helicase WRN
-------	------------	----------------------	--	--------	---

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

43769	Nobuyuki Nishimori	18 (2021) 28-37	加速器	全般	R&D and Building Design for a Highly Brilliant 3 GeV Light Source Accelerator System
-------	--------------------	--------------------	-----	----	--

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

43539	Shinji Kohara	64 (2022) 50-56		BL04B2	Understanding Disordered Structures by Accurate High-Energy X-ray Diffraction Measurement
-------	---------------	--------------------	--	--------	---

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

43707	Toru Nakatsu	142 (2022) 479-485	装置&技術	SACLA	What Kind of Measurements Can Be Made with an X-ray Free Electron Laser at SACLA?
-------	--------------	-----------------------	-------	-------	---

SPring-8/SACLA 研究成果公表 論文サイテーション数調査 -2022-

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：2022/04/01

SPring-8	1989-2022 ² (総累積)			2011-2021 (11 年間累積)			2020 (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	15,800	449,390	28.4	9,559	203,089	21.2	954	5,208	5.5
共用 BL ^{3,5}	11,059	325,579	29.4	6,715	151,593	22.6	664	3,766	5.7
専用 BL ^{3,4,6}	3,784	92,018	24.3	2,601	47,445	18.2	278	1,272	4.6
理研 BL ^{3,5}	1,946	70,796	36.4	1,050	25,541	24.3	90	567	6.3
その他 (技術開発等)	174	2,625	15.1	23	58	2.5	2	1	0.5

SACLA	2006-2022 ² (総累積)			2011-2021 (11 年間累積)			2020 (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	475	13,269	27.9	436	12,047	27.6	55	359	6.5
BL1, 2, 3	311	9,710	31.2	304	9,710	31.9	48	328	6.8
その他 (技術開発等)	174	5,041	29.0	142	3,819	26.9	7	31	4.4

●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 BL38B1⁵ BL39XU BL40XU BL40B2
BL41XU BL43IR BL46XU BL47XU

専用 BL — 計 20 本

BL03XU BL07LSU BL08B2 BL11XU BL12XU BL12B2 BL14B1 BL15XU⁷ BL16XU BL16B2 BL22XU
BL23SU BL24XU BL28XU BL31LEP BL32B2⁴ BL33XU BL33LEP BL36XU⁶ BL44XU

理研 BL — 計 11 本

BL05XU BL17SU BL19LXU BL26B1 BL26B2 BL29XU BL32XU BL38B2 BL43LXU BL44B2 BL45XU⁵

●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。

*2：2022 年は、2022 年 1 月 1 日から 2022 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：BL32B2 (施設開発 BM BL) は、専用 BL に含めた (2012/03/29 に専用 BL の設置期間終了、2018/04/23 に理研 BL として稼働)。

*5：BL38B1 (理研 構造生物学 I BL) は共用 BL に、BL45XU (生体高分子結晶解析 II BL) は理研 BL に含めた (2019/04/01 に共用 BL から理研 BL (BL38B1) 及び理研 BL から共用 BL (BL45XU) に変更)。

*6：BL36XU (理研 物質科学 II BL) は専用 BL に含めた (2020/04/01 に専用 BL から理研 BL に変更)。

*7：BL15XU (理研 物質科学 III BL) は専用 BL に含めた (2021/10/01 に専用 BL から理研 BL に変更)。

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：2022/04/01

SPring-8	1989-2022 ² (総累積)			2011-2021 (11年間累積)			2020 (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 SPring-8[net] ¹	15,800	11.0%	1.5%	9,559	11.0%	1.6%	954	8.3%	1.3%
共用 BL ³⁵	11,059	11.6%	1.6%	6,715	11.6%	1.7%	664	9.0%	1.2%
専用 BL ³⁴⁶	3,784	8.6%	1.3%	2,601	8.3%	1.3%	278	5.4%	1.1%
理研 BL ³⁵	1,946	13.1%	1.3%	1,050	14.5%	1.2%	90	11.1%	1.1%

SACLA	2006-2022 ² (総累積)			2011-2021 (11年間累積)			2020 (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	475	15.8%	2.5%	436	16.7%	2.3%	55	10.9%	1.8%
BL1, 2, 3	311	19.3%	2.9%	304	19.7%	3.0%	48	10.4%	2.1%

●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 BL38B1⁵ BL39XU BL40XU BL40B2
BL41XU BL43R BL46XU BL47XU

専用 BL — 計 20 本

BL03XU BL07LSU BL08B2 BL11XU BL12XU BL12B2 BL14B1 BL15XU⁷ BL16XU BL16B2 BL22XU
BL23SU BL24XU BL28XU BL31LEP BL32B2⁴ BL33XU BL33LEP BL36XU⁶ BL44XU

理研 BL — 計 11 本

BL05XU BL17SU BL19LXU BL26B1 BL26B2 BL29XU BL32XU BL38B2 BL43LXU BL44B2 BL45XU⁵

●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。

*2：2022 年は、2022 年 1 月 1 日から 2022 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：BL32B2（施設開発 BM BL）は、専用 BL に含めた（2012/03/29 に専用 BL の設置期間終了、2018/04/23 に理研 BL として稼働）。

*5：BL38B1（理研 構造生物学 I BL）は共用 BL に、BL45XU（生体高分子結晶解析 II BL）は理研 BL に含めた（2019/04/01 に共用 BL から理研 BL（BL38B1）及び理研 BL から共用 BL（BL45XU）に変更）。

*6：BL36XU（理研 物質科学 II BL）は専用 BL に含めた（2020/04/01 に専用 BL から理研 BL に変更）。

*7：BL15XU（理研 物質科学 III BL）は専用 BL に含めた（2021/10/01 に専用 BL から理研 BL に変更）。

3. SPring-8 利用の年別発行総論文数と 2022/4/1 における平均被引用数 (2011-2021)

調査日：2022/04/01

SPring-8	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
年別発行論文数 ¹	789	776	925	845	843	968	939	841	929	954	750
累積被引用数 ²	31,755	28,725	26,555	24,068	22,252	22,958	16,843	12,445	11,097	5,208	1,183
平均被引用数 [累積被引用数/年別発行論文数]	40.2	37.0	28.7	28.5	26.4	23.7	17.9	14.8	11.9	5.5	1.6



●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 2022/4/1 における平均被引用数 (2011-2021)

調査日：2022/04/01

SACLA	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
年別発行論文数 ¹	19	14	39	24	48	53	47	41	57	55	39
累積被引用数 ²	491	1,447	1,344	1,265	3,191	1,338	1,267	595	695	359	55
平均被引用数 [累積被引用数/年別発行論文数]	25.8	103.4	34.5	52.7	66.5	25.2	27.0	14.5	12.2	6.5	1.4



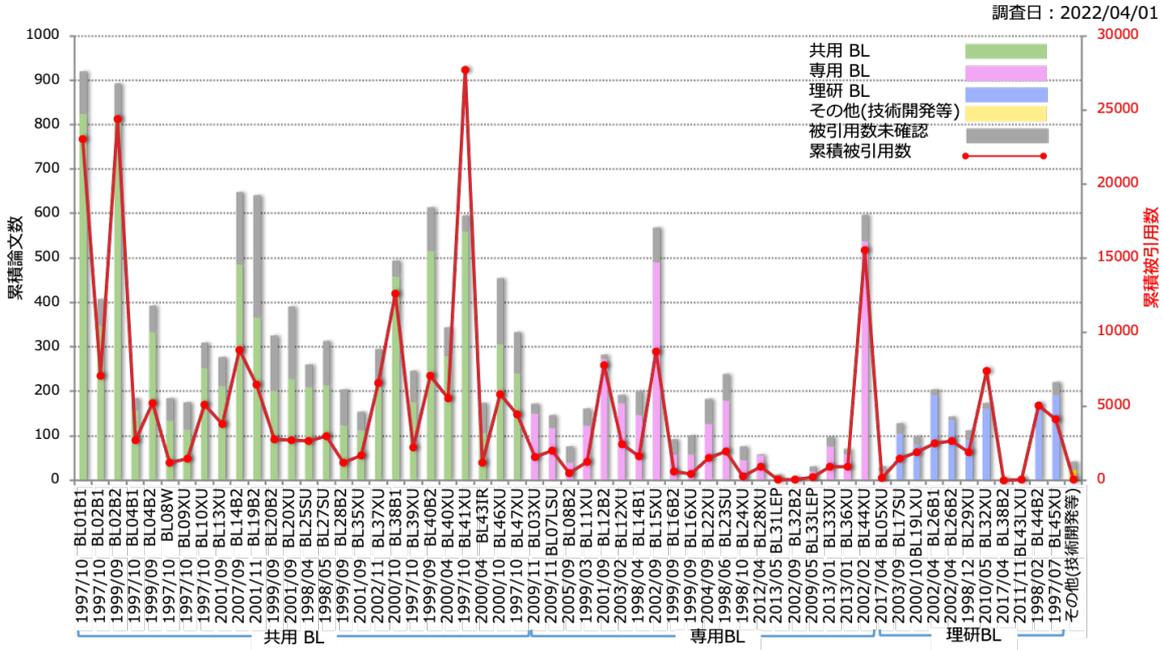
●備考

*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 (2011-2021)

調査日: 2022/04/01



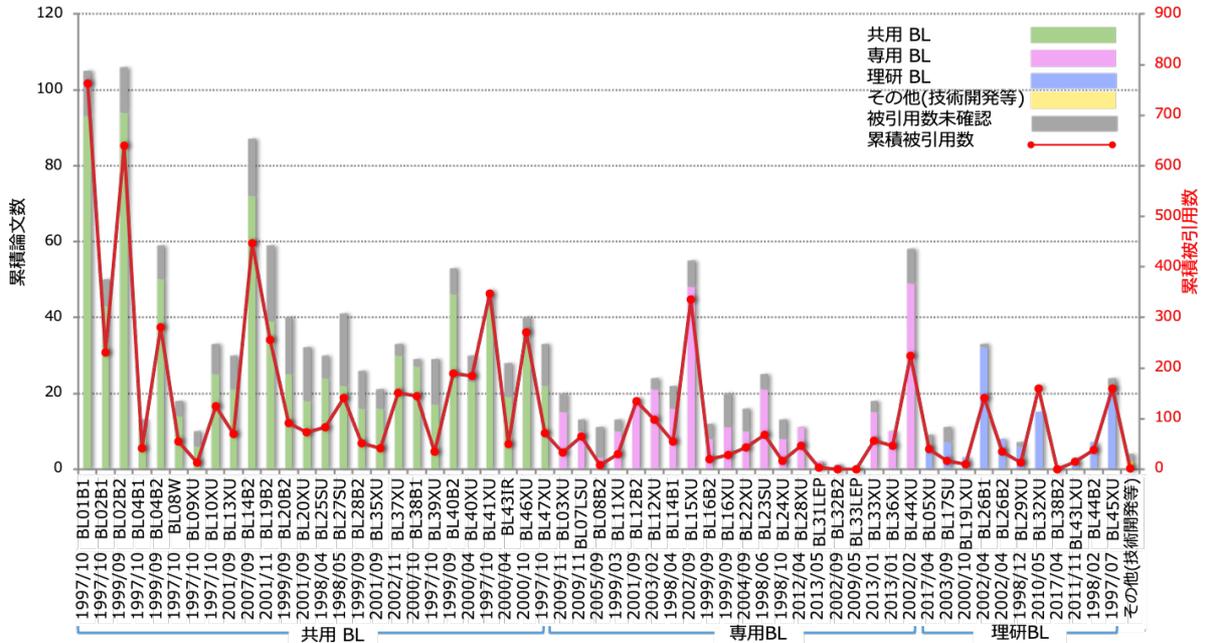
*1: 成果登録 DB に登録された原著論文/博士論文/査読付きプロシーディングおよび、SPring-8/SACLA 利用研究成果集を対象とし、累積被引用数は Clarivate Analytics 社 InCites Benchmarking を用いて集計した。

*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 (2020 年の発表論文)

調査日: 2022/04/01



*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. 2020 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 (2020)

調査日：2022/04/01

	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	112	BL15XU	Hexiang Deng	Filling Metal-Organic Framework Mesopores with TiO ₂ for CO ₂ Photoreduction	Zhuo Jiang	Wuhan University	Nature
2	74	BL45XU	-	Layered Nanocomposites by Shear-Flow-Induced Alignment of Nanosheets	Chuangqi Zhao	Beihang University	Nature
3	67	BL12B2	Yan-Gu Lin	Co-Induced Electronic Optimization of Hierarchical NiFe LDH for Oxygen Evolution	Yanping Lin	Soochow University	Small
4	64	BL40XU	Takuji Hatakeyama	Solution-Processable Pure Green Thermally Activated Delayed Fluorescence Emitter Based on the Multiple Resonance Effect	Naoya Ikeda	Kwansei Gakuin University	Advanced Materials
5	59	BL01B1	Shinya Furukawa 他	Single-atom Pt in Intermetallics as an Ultrastable and Selective Catalyst for Propane Dehydrogenation	Yuki Nakaya	Hokkaido University	Nature Communications
6	54	BL46XU 他	Naoyuki Shibayama 他	Band-bending Induced Passivation: High Performance and Stable Perovskite Solar Cells using a Perhydropoly(silazane) Precursor	Hiroyuki Kanda	École Polytechnique Fédérale de Lausanne	Energy & Environmental Science
7	52	BL2 (SACLA)	Junko Yano	Untangling the Sequence of Events during the S ₂ → S ₃ Transition in Photosystem II and Implications for the Water Oxidation Mechanism	Mohamed Ibrahim	Humboldt-Universität zu Berlin	Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America
8	49	BL04B2	Shinichi Komaba	Structural Analysis of Sucrose-Derived Hard Carbon and Correlation with the Electrochemical Properties for Lithium, Sodium, and Potassium Insertion	Kei Kubota	Tokyo University of Science	Chemistry of Materials
9	48	BL02B1 他	Hiroshi Kitagawa 他	Confined Water-Mediated High Proton Conduction in Hydrophobic Channel of a Synthetic Nanotube	Ken-ichi Otake	Kyoto University	Nature Communications
10	46	BL02B2	Hiroshi Kitagawa	Platinum-Group-Metal High-Entropy-Alloy Nanoparticles	Dongshuang Wu	Kyoto University	Journal of the American Chemical Society

●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 2021B 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 BL（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 2021 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 2021 年までの総累計、及び 2021 年度（1 年間）の実績を集計した。

調査日：2022/04/01
(単位：千円)

SPring-8	1997-2021 (総累計)			2012-2021 (10 年間累計)			2021 (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	5,481,902	4,489,135	992,767	3,209,626	2,518,289	691,337	509,459	381,996	127,463
共用 BL	4,406,927	3,424,477	982,450	2,656,054	1,971,120	684,934	409,563	282,870	126,693
専用 BL ¹	863,178	863,178	—	348,329	348,329	—	77,766	77,766	—
理研 BL ²	211,797	201,480	10,317	205,243	198,840	6,403	22,130	21,360	770

(単位：千円)

SACLA	2012-2021 (総累計)	2021 (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、2021B 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。

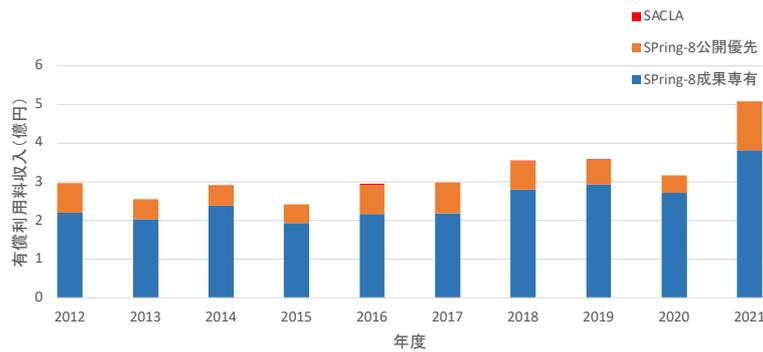
2. SPring-8/SACLA 有償利用料収入の年次推移

2012年度から2021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：2022/04/01

(単位：億円)

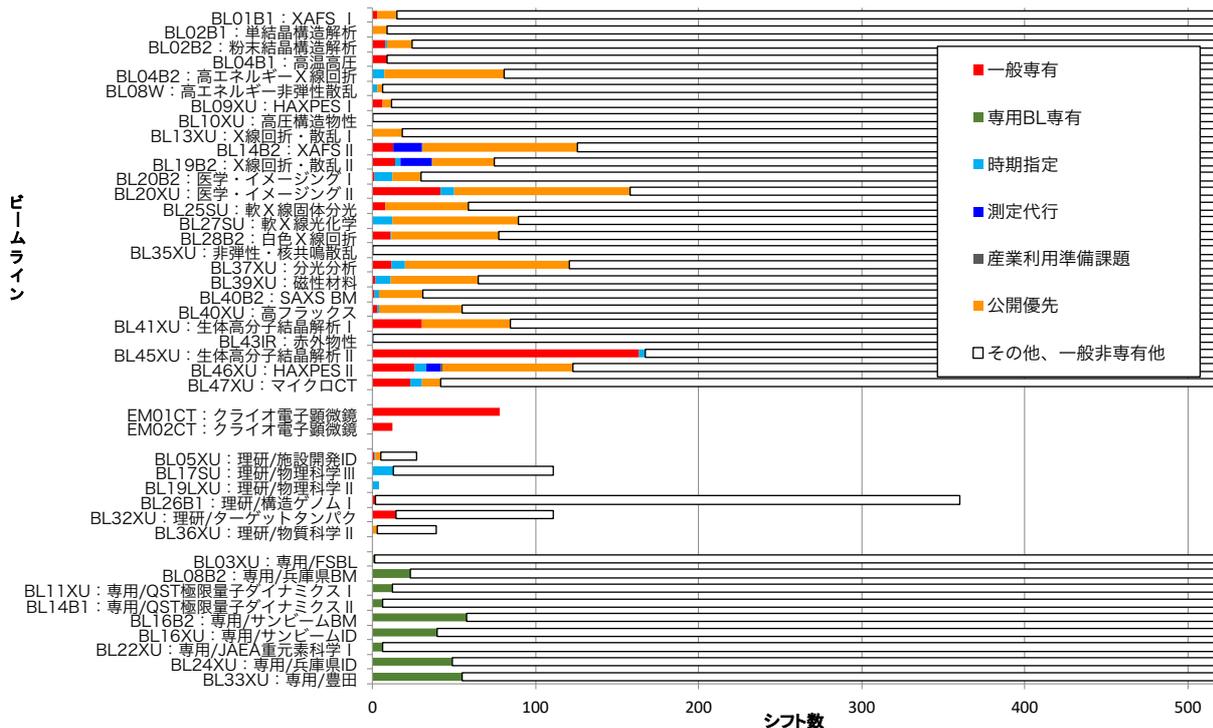
年度	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
SPring-8	2.97	2.55	2.91	2.41	2.91	2.98	3.53	3.57	3.17	5.09
SACLA	—	—	—	—	0.04	—	0.02	0.02	—	—



3. 2021年度のSPring-8有償利用の状況(シフト数)

2021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：2022/04/01

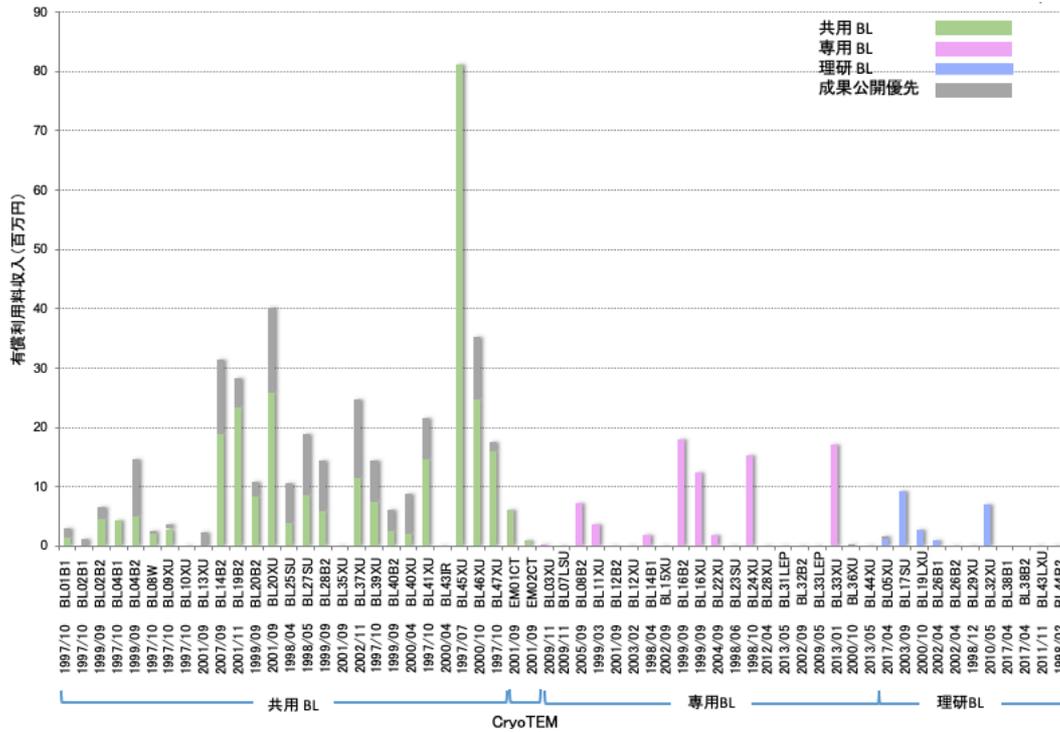


●共用BL26本は全表示。専用BL及び共用供出理研BLは、有償利用実績があったBLのみ表示。

4. SPring-8 の BL 別の年間有償利用料収入 (2021 年度)

2021 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。

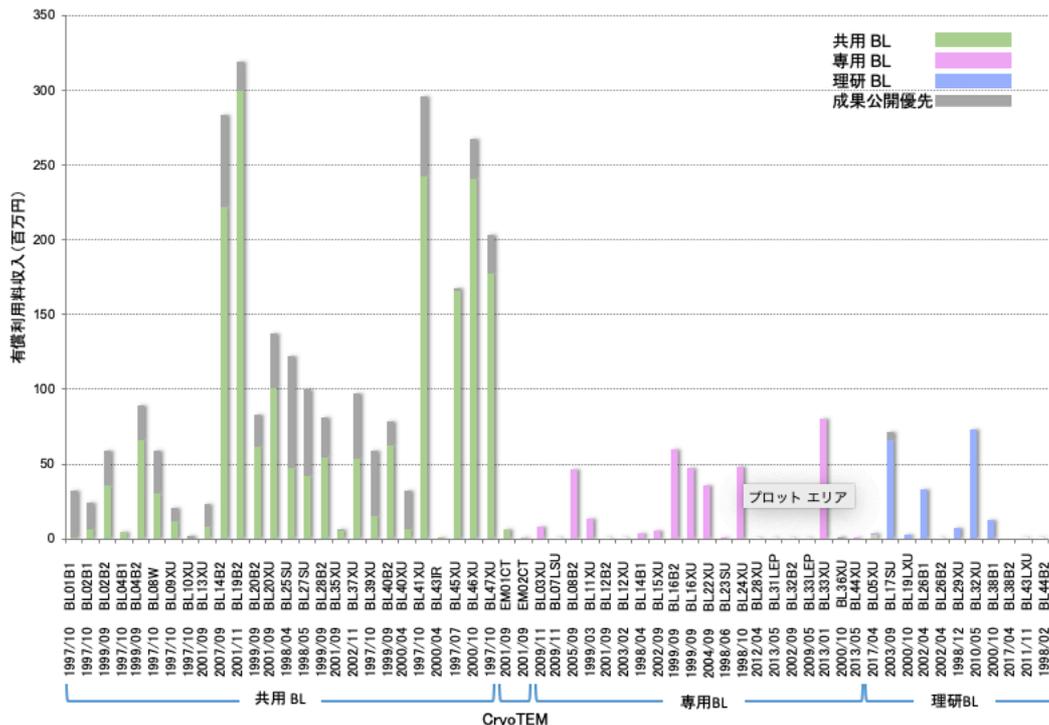
調査日：2022/04/01



5. SPring-8 の BL 別の 10 年間累計有償利用料収入 (2012-2021 年度)

2012 年度から 2021 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：2022/04/01



専用ビームラインにおける評価・審査の結果について

公益財団法人高輝度光科学研究センター
利用推進部

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構及び国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構の各専用ビームラインについて、2022年6月の専用施設審査委員会で中間評価を実施した結果、共に専用ビームラインの運用を「継続」することは妥当との結論に至り、その結果を2022年7月開催のSPring-8選定委員会に諮り、承認されましたので報告いたします。

中間評価

- ・JAEA 重元素科学I ビームライン (BL22XU)
- ・JAEA 重元素科学II ビームライン (BL23SU)
(設置者：国立研究開発法人日本原子力研究開発機構)
- ・QST 極限量子ダイナミクスI ビームライン (BL11XU)
- ・QST 極限量子ダイナミクスII ビームライン (BL14B1)
(設置者：国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構)

詳細は、以下に示す各施設の中間評価報告書をご覧ください。

JAEA 重元素科学 I・II ビームライン
(BL22XU・BL23SU)
中間評価報告書

JAEA 重元素科学 I・II ビームライン (BL22XU、BL23SU) は、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 (JAEA)、物質科学研究センター、放射光エネルギー材料研究ディビジョンによって設置、運用されている専用ビームラインである。2005 年 10 月に専用施設となり、2度の契約更新を経て、2016年から2025年までの約 9 年間の契約で運用が続けられている。2018 年 11 月に専用施設審査委員会が中間評価を行い、6 年契約の他施設に倣って 3 年後を目処に再度中間評価を設けることを勧告した。この勧告に基づき、今回の中間評価を実施した。

今回の評価においても、中間報告書等の資料と口頭によるプレゼンテーションをもとに、「装置の構成と性能」、「施設運用及び利用体制」、「研究課題、内容、成果」、「今後の計画」の 4 項目について評価を行った。その結果、当該ビームラインの継続は妥当であるものの、運営面で改善の努力が必要と判断した。

当該施設は、原子力研究の発展と成果の社会還元を目指して設置され、現在の重点課題として「アクチノイド基礎科学」、「環境・エネルギー材料科学」、「福島第一原子力発電所事故からの復興に資する研究 (廃炉研究を含む)」の 3 項目を掲げている。ビームラインに先進的な実験装置を整備し、質の高い研究を進めている点は高く評価され、継続の判断につながった。しかし、個々の研究開発の方向性がまとまっておらず、ビームラインの設置目的に沿って戦略的に研究が推進されているとは認め難い。JAEA の専用施設でしか実施できない特色のある研究に資源を集中し、重要課題に組織的に取り組むよう、運営の改善が求められる。今後も社会的関心の高い成果を生むことで JAEA 経営層からもより一層の支持を得て、安定した運営を続けることを期待する。

なお、中間報告書と口頭でのプレゼンテーションの内容に齟齬があり、中間報告書の改訂と再提出が必要と判断した。今後も安定したビームライン運営が可能であるかを評価するには、JAEA 経営層からの評価や、JAEA 本体の中長期計画と当該ビームラインの運用計

画との関連は大変参考になる情報である。改訂に際しては、このような情報も報告書に含めることを期待する。

以下に、各評価項目についての審査結果をまとめる。

1. 「装置の構成と性能」に対する評価

BL22XU はアンジュレータを光源とし、テングダー領域 (~ 4 keV) から高エネルギー帯 (~ 70 keV) までの硬 X 線を利用可能なビームラインである。RI 実験棟を活用したこのビームラインは、国際規制物質、放射性物質の測定に適した環境を有することが最大の特徴である。RI 実験棟には XAFS 分析装置、硬 X 線光電子分光装置、応力・イメージング測定装置、 κ 型多軸回折計が導入されている。

一方、BL23SU はツインヘリカルアンジュレータを光源とする軟 X 線 ($0.4\sim 1.9$ keV) ビームラインであり、キッカー磁石により高速円偏光切り替えが可能である。RI 実験棟には角度分解光電子分光装置、X 線磁気円二色性測定装置が設置されており、新たに走査型 X 線顕微鏡ステーションの立ち上げが進められた。また、蓄積リング棟には非放射性物質を取り扱う表面科学実験ステーションが設置されている。

これらの装置群は JAEA のミッションに沿ったものであり、必要な高度化が行われている。これまで複数のビームラインで「入れ子構造」にあった JAEA 装置群と QST 装置群の装置再配置を進め、JAEA 装置群を RI 実験棟へ集約したことにより、RI 実験棟の特色を活かす研究環境の整備が進んだことは大いに評価できる。今後、基礎から応用まで幅広い研究・技術開発が、このビームラインにおいて進展すると期待される。また、低線量デブリ分析を可能とする少量核燃料使用施設の実現に向けた手続きが進んでいる点も JAEA のミッションに沿った活動としてだけでなく、施設の高度化への貢献として評価できる。

一方、現在、故障している BL23SU 挿入光源については、円偏光切り替えができず、光強度が半分になっている。そのため、予算確保も含めて、早期復旧を見越したスケジュールの策定が望まれる。また、多数の装置群を活用してミッションを十分に達成するには、今後、装置の有機的な連携も考慮した明確なビジョンのもとに個々の課題が実施される必要がある。JAEA

として組織的に取り組み、特色のある先端放射光利用を先導されることを期待する。

2. 「施設運用及び利用体制」に対する評価

安全体制については、QST との間で入れ子構造になっていた組織体制の整理がなされた。JAEA の保安管理部職員が常駐し、一般安全衛生や安全管理の支援が行われている点など、安全管理に対する具体的かつ積極的取り組みが行われている点は評価できる。また、JAEA で情報を収集して理研・JASRI などに一元的に連絡する体制が構築され、QST と毎月の安全連絡会議で情報を共有し、緊急時には合同で現地対策本部が組織される状況にあるなど、組織間連携も強化されている。核燃料物質の取り扱い管理体制については、RI 実験棟のパフォーマンスを最大限に引き出すため、また、多岐にわたる JAEA の研究・開発実施項目を実行するため、マンパワーの確保も含めたより一層の努力を期待する。

外部利用については、BL22XU において JAEA と QST で 2 割から 3 割、BL23SU においては JAEA のみで 3 割から 4 割の割合で推移している。これら利用に対して、事前技術相談や利用者への技術支援を行っており、広範な研究対象の実施についても支援体制の構築を進めている点は評価できる。一方で、研究方針が発散傾向にあること、JAEA のミッションの中核となる外部課題を取り込むことなどに対し、改善の検討がなされるべきである。また、RI 関係の利用実験が 10 回/年程度と少なく、宣伝活動などを通じてユーザーの拡大を図っていくことも必要である。同様に、多数の組織との連携活動があり、その努力は大いに評価できるが、資源不足の中で手を広げている感が否めない。ビームライン運営に関するこれらの取り組みは、JAEA 本体と連携して行われるべきであり、例えば、JAEA のロードマップと播磨地区における運用計画の関係、中性子との相補利用による研究・開発の方向性などを組織として示し、明確なビジョンのもと、戦略的に各項目が実施されることが重要である。この観点から、JAEA として取り組むオープンファシリティブプラットフォームの活用には期待するところであり、ビームラインの一層の高度化、研究・開発の活性化を進める具体的方策が示されることを望む。

また、BL22XU、BL23SU における成果非公開利用の件数は低調であるため、産業（企業）利用に関わる成果創出を今後促進されることを期待する。この点において、供用装置登録が予定されている硬 X 線光電子分光装置、走査型 X 線顕微鏡の戦略的活用を期待する。

3. 「研究課題、内容、成果」に対する評価

概して個々の研究のレベルは高く、放射性廃棄物や燃料デブリに関する研究、アクチノイド基礎科学研究、原子力関連材料の研究などで質の高い成果が得られている。特に、放射性元素の分離技術の開発、燃料デブリの分析、放射光と中性子の相補利用など、JAEA の強みを活かした特色のある研究は高く評価でき、今後のさらなる発展を期待したい。前回の中間評価での指摘を受けて、学会発表やプレスリリース等による成果の発信を積極的に行ってきたことも認められる。ただし、JAEA のミッションと直接的に関連する成果の発表件数は、依然として十分とは言えない。引き続き、専用施設としての特色が明確に伝わるよう、効果的な成果の発信をお願いしたい。

JAEA のミッションと直結する研究が展開される一方で、エネルギー変換材料や超電導物質に関する研究については、研究自体の科学的意義は高いものの、ミッションとの関連がはっきりしていない。外部利用も含めた全体の成果を見渡しても、個別の研究結果を集めた成果リストのようであり、専用施設としての独自性が出ているとは認め難い。しかも、今回の報告からは、他のビームラインと比べて生産性が高いとは認められなかった。

上述のような状況を見る限り、研究者個々の裁量に任せることによって、個別の研究では高いレベルを維持できているものの、組織的な活動が妨げられている懸念がある。研究者の自主性に任せる部分と、適切なマネジメントが必要な部分の線引きが適切であるか、再検討を求めたい。その上で JAEA として重点的に取り組むべき研究課題を改めて精査し、組織的かつ戦略的に遂行することが求められる。

4. 「今後の計画」に対する評価

当該施設が掲げる重点課題は、いずれも科学技術的

に重要であるだけでなく、社会的な注目度も高く、妥当なものとして認められる。特に、放射光と中性子の相補的利用や福島第一原発の燃料デブリ分析など、JAEA ならではの特色ある研究の発展を期待する。また、少量核燃料の使用許可が認められれば、原発の廃炉に関する研究など、重要な課題の解決へ向けた取り組みが一層加速されるであろう。

一方で、これら重点課題に取り組むための実施計画・体制については、妥当性に疑問が残る。現状では、JAEA の SPring-8 における多様な研究を、無理矢理 BL22XU と BL23SU の中で進めようとしている印象がある。結果として、現状のように共用ビームラインとの違いが不鮮明となり、専用施設としての独自性が見えにくくなるであろう。また、計画される研究が、BL22XU と BL23SU の現有装置で実施できる範囲に制限される懸念もある。今後は、例えば SPring-8 の共用ビームラインやナノテラス等も活用し、企業と連携することも視野に入れて研究計画を検討すべきである。そのような計画のうち当該施設において実施するものについては、RI 実験棟でしか実施できない特徴的な研究に絞り込んでいくことが重要である。近い将来には、SPring-8 のアップグレードへの対応や、契約期間満了（2025 年）を控えていることもあり、今後の運営体制と計画について大幅な見直しを求めたい。

安全管理に関わる取り組みについては、前回の中間評価での指摘を受けて安全管理の一貫性が向上するなど、改善が進んでいることが認められる。今後は核燃料物質の取扱いも始まるため、安全に関する管理体制と手続きを再確認するとともに、規則の順守を一層徹底していただきたい。

以上

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

QST 極限量子ダイナミクス I・II ビームライン（以下、本施設）は、国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構（以下、QST）の専用ビームラインという特

性に対応して、荷電粒子、放射性同位元素（RI）、中性子、放射光など様々な量子ビームの発生・制御やこれらを用いた高精度な加工や観察などに係る最先端の技術開発を行うことを目的として設置された。本施設を構成する BL11XU における最先端の放射光メスバウアー分光装置と共鳴非弾性散乱装置を活かした研究実績、BL14B1 における水素利用先進材料を始めとした物質研究・材料開発の成果を評価し、専用施設審査委員会（以下、本委員会）は本施設の設置と運用の「継続」を勧告することが妥当であると判断した。

以下、QST から本委員会に提出された「QST 専用ビームライン中間報告」、2022 年 6 月 30 日に開催された本委員会での報告および討議に基づき、以下の点についてその評価と提言を記す。

1. 「装置の構成と性能」に対する評価

本施設は先端的放射光利用技術の開発拠点 BL11XU (QST 極限量子ダイナミクスビームライン I) と物質研究・材料開発ビームライン BL14B1 (QST 極限量子ダイナミクスビームライン II) から構成されている。

BL11XU は、標準型アンジュレータを光源とし、6～70 keV の広範囲の単色エネルギーの高輝度硬 X 線を利用できる。各実験ハッチには先進的放射光メスバウアー分光装置、共鳴非弾性 X 線散乱分光装置、表面 X 線回折計がそれぞれ設置されている。前回の専用施設評価委員会における、QST と国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下、JAEA）との装置混在化を解消すべきという勧告を受け、BL22XU で QST が実施していた磁気光学効果の研究テーマを、BL11XU の共鳴非弾性 X 線散乱分光装置で展開できるようにした。先進的放射光メスバウアー分光装置では、計測深度を実際が多層膜磁気デバイスにおける界面深さに届く約 10 nm にまで拡大させた。共鳴非弾性 X 線散乱分光装置では、5d 遷移金属に対象元素を拡大し新たに Re および W の L3 吸収端での計測を可能とした。表面回折計は、基板の前処理の効率化を実現し、その結果として、グラフェンなど 2 次元物質上での窒化物半導体の結晶成長の研究も可能となった。

BL14B1 は、偏向電磁石を光源とし、白色 X 線と高

エネルギー単色 X 線の両方を利用できる。白色 X 線実験用の実験ハッチ 1 には、高温高压プレス装置 (QST)、および、分散型 XAFS 分析装置 (JAEA) を設置している。BL22XU で QST が実施していた応力研究テーマについては、高温高压プレス装置上で継続可能とした。高温高压プレス装置では、高温高压発生・制御およびその場 X 線回折測定の一連の操作を自動化する開発を行った。また、水素脆化の研究も含めた応力研究のテーマを実施できるように、同装置をエネルギー分散型の回折計としても利用できるようにした。XAFS 分析装置では、ガス圧環境下測定や低濃度試料測定の整備を進め、新たに QST の量子生命・医学部門との内部被曝時の体内核種の動態に関する研究も開始した。汎用 4 軸回折計では、本装置の最初の利用として、放射光単色 X 線とナノ粒子を用いたがんの新規放射線治療に関する研究を開始した。

以上のように、装置の高性能化を計画的に進捗させ、QST 専用ビームラインとしてのミッションを達成し得る高い性能目標を達成していることは高く評価できる。QST と JAEA の装置の混在の解消が指摘されていた点について、カップ型多軸回折計 (JAEA) と汎用 4 軸回折計 (QST) の装置が BL14XU と BL22XU で入れ替えられ、解消に向けて進展したことも評価できる。ただし BL22XU に QST の装置が 2 台残っており今後解消する計画である一方、BL14B1 に残っている JAEA の装置については、成果最大化の観点から、今後も利用を続ける予定とのことなので、前者については装置混在の解消の継続、後者については十分な相互連携を期待したい。

2. 「施設運用及び利用体制」に対する評価

前回の中間評価で指摘された安全管理や課題審査における懸念や指摘について、2022 年 4 月から、JAEA の装置があるビームライン BL14B1 のビームライン担当者を QST 職員に変更したり、JAEA との月 1 回の連絡会議を開催したりするなど、適切に対応、改善したことが評価できる。

外部利用課題が各期とも概ね 30%確保されていることは高く評価できる。高崎研、関西研など他の拠点との連携の強化や新分野への利用拡大を推進させていることも評価できる。さらに、QST 内のニーズに応

えるとともに、QST の戦略的な利用を促進するうえで、内部課題の選定や戦略の策定において、QST 全体での一層のシステムティックな施設運用や運営を目指すべきであろう。

3. 「研究課題、内容、成果」に対する評価

BL11XU の放射光メスbauer分光装置では、一原子層単位の局所磁性探査技術を活用して、磁石の代表である鉄の表面付近の磁性を調べ、鉄の最表面から深さ方向に磁力が一原子層毎に増減する現象を世界で初めて観測することに成功した。X 線磁気円偏光発光を利用した磁気顕微鏡では、電磁鋼板の観察に適用して、10 μm の面内分解能で磁区像を得ることに成功した。共鳴非弾性 X 線散乱装置では、パイロクロア型イリジウム酸化物 $\text{In}_2\text{Ir}_2\text{O}_7$ における特異な 5d 電子状態を解明した成果などが得られた。表面回折計では、窒化ガリウム/グラフェンの初期成長メカニズムを解明した成果などが得られた。

BL14B1 の高温高压プレス装置では、アルミニウムと鉄からなるレアメタルを含まない新規水素化物が、錯体水素化物や侵入型水素化物、イオン結合性水素化物のいずれにも属さない新しいクラスの水素化物であることを明らかにした。同装置をエネルギー分散型の回折計として利用し、延伸加工した TRIP 鋼における水素脆化と残留応力との関係を解明した。分散型 XAFS 装置ではイオンビーム照射による燃料電池触媒の活性向上の機構解明を行った成果が得られた。

成果の公開については、BL11XU 及び BL14B1 について、前回報告以降の約 3 年半の間に原著論文がそれぞれ 52 報及び 80 報である。BL11XU では年平均で 15 報程度、BL14B1 では、年平均で 20 報強の論文が創出されている。

以上のように、研究成果は、極めて高い水準のものであり、高く評価できる。他方、個別の装置を利用した各個人研究者の成果リストという印象もあり、研究成果を通じた QST のミッションへの貢献や成果創出の戦略性は大変分かり難かった。また、他のビームラインの研究成果数と比較して、生産性は高いとはいえない。以上から、装置の取舍選択なども含め、QST の重点戦略や長期戦略とマッチングさせた成果創出を推進できるように施設運営の見直しが必要であろう。

4. 「今後の計画」に対する評価

BL11XU では磁性・スピントロニクス研究を中心とし、「先端的放射光利用技術開発拠点」を掲げた研究、および BL14B1 では水素利用先進材料を中心とし、「物質研究・材料開発ビームライン」を掲げた研究、の展開を計画している。また、マテリアル先端リサーチインフラ事業における先端的な放射光測定手法を提供しデータを創出の役割を担当している。さらに、BL11XU ではビームの高品質化についても計画している。

計画方針は明確であり、期待できる。一方で、他のビームラインとの棲み分けをより意識し、QST の基本・長期戦略や方針に合致し、専用施設としての位置づけや社会への還元を明確にした利活用を進めていくべきである。そのためには課題の選定や研究資源の集中、装置の整理などを含め、専用施設を維持する場合のメリット・デメリットについて、QST としてしっかり検討いただきたい。

以 上

回折・散乱Iビームライン BL13XU の現状

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

隅谷 和嗣、河口 彰吾

山田 大貴、小林 慎太郎

公益財団法人高輝度光科学研究センター

放射光利用研究基盤センター 産業利用・産学連携推進室

小金澤 智之、ロシヤンタ クマール

1. はじめに

X線回折は、原子レベルでの物質の構造を分析する極めて優れた手法であり、SPring-8においても、複数のビームラインで回折装置が整備されており、目的や対象となる試料に応じてビームラインを選択できるようになっている。一方、近年では、ユーザー層の拡大や計測技術の飛躍的な向上を背景に、測定の自動化や in-situ/operando 測定など、より高度な測定技術の確立が求められている。そこで、将来的な SPring-8-II への移行も念頭に置いて、汎用的に利用可能な回折装置を集約し、集中的にリソースを割り当てることで効率の良い装置の運用や高度化を進めることを目的として、2020年頃から、X線回折ビームラインの再編計画が専門のワーキンググループによって検討されてきた。

この再編計画に沿う形で、BL13XU では2021年度末に実験装置の新規整備ならびに移設が行われた。更新後の実験装置の構成は、

実験ハッチ 1：多目的6軸回折計

実験ハッチ 2：回折計測汎用フレーム

実験ハッチ 3：高分解能粉末回折装置

実験ハッチ 4：ナノビーム X線回折装置

となっている。これらの装置は、従来行われてきた回折実験を極力損なうことなく、新たな機能、性能を搭載して測定の自動化、効率化、拡張性などを実現することを目的としたものである。

また、実験装置の更新に合わせて、ビームライン光学系の更新も行われた。この更新は、単に光学系機器のリフレッシュではなく、高エネルギー X線の利用を

想定したアップグレードである。

本稿では、更新後の BL13XU の実験装置について紹介する。

2. ビームライン光学系の更新

以前の BL13XU は、6~50 keV の X線を利用可能なビームラインとして整備されていた。しかしながら、観測可能な逆格子空間が拡大すること、透過配置など実験配置の自由度が高くなること、検出器技術の飛躍的な進歩により効率のよい計測が可能になったことなどから、近年、高エネルギー X線の利用に対する要望が高まってきている。そこで、BL13XU では、72 keV までの高エネルギー X線を利用可能とするべく、光学系のアップグレードを実施した。

更新の内容は、モノクロメータの Si(111)/(311)結晶切替機構の導入、およびミラーの更新である。

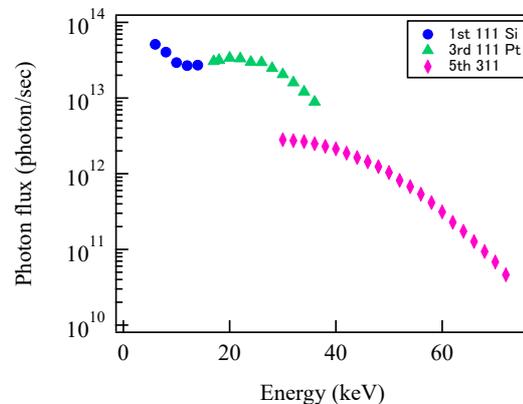


図1 測定されたフォトンフラックス。アンジュレータ光の次数、モノクロメータの結晶面、ミラーのコーティングを分類してプロットしている。311 反射では、ミラーを使用していない。

モノクロメータにはこれまで Si(111)結晶が用いられてきたが、高エネルギーX線の分光に対応すべく、(111)/(311)面の切り替えを行うための改造を実施した。Si(111)と Si(311)結晶は光軸に対して平行に配置されており、容易に切り替えが可能である。37 keV 以下では 111 反射、それ以上のエネルギーでは 311 反射を用いる。また、ミラーは Si/Pt の 2 種類のコーティングとして、エネルギーに応じた適切な角度に配置することで高調波の除去と試料位置での集光を実現する。

図 1 に、各エネルギーでの光子フラックスを示す。特に 40 keV 以上のエネルギーでも高フラックスの X 線が利用可能になっており、72 keV でも 10^{10} photon/sec を超えるフラックスが得られている。このような高エネルギーX線はこれまで BL13XU では利用できなかったものであり、今後、この高エネルギーX線を活かした X 線回折計測技術の開発を進める計画である。

この他、今回の更新に合わせて、光学系の制御システムとして、新しい基盤技術である BL-774 を導入した。BL-774 では、光学系だけでなく各実験ハッチの実験機器も同じプラットフォーム上で制御可能である。これにより、今後、測定の自動化やリモート実験など、利便性の高いビームタイムの運用を実現していく予定である。

3. 多目的 6 軸回折計 (実験ハッチ 1)

これまで実験ハッチ 1 で運用していた高角度分解能 X 線回折装置の供用を 2021 年度末に終了し、BL46XU (旧・産業利用 III、現・HAXPES II) 実験ハッチ 1 で運用していた多目的 6 軸回折計を実験ハッチ 1 に移設した。2022 年 3 月に回折計本体・ケーブル類・周辺機器を BL46XU より移設し、オフラインでの立ち上げ、および X 線を用いた立ち上げ・調整を行い、2022 年 6 月よりユーザー利用を再開し、2022A 期には 11 課題が実施される。これまで産業利用課題を受け入れてきた装置であるが、利用制度や支援体制は維持しつつ、新たに学術系課題の受入れも可能となった。

回折計の写真および CAD 図を図 2 に示す。本回折計は HUBER 社製 6 軸回折計であり、薄膜・表面 X 線回折、応力測定、各種 in-situ 測定などが受入れ可能で

ある。検出器は 0 次元・1 次元・2 次元検出器から選択することができ、多目的な X 線回折実験を実施することができる。

4. 回折計測汎用フレーム (実験ハッチ 2)

近年の回折実験では、試料への外場印加、加熱・冷却などの比較的単純な制御に留まらず、材料製造プロセス中のその場観察や、デバイス動作中のオペランド測定など、測定手法が高度化し、試料環境装置も大型化、複雑化している。これに対し、従来用いられてきた回折計は、 χ サークルや 2θ アームの存在により試料周辺空間が制限され、これが試料環境装置の設計の制限になることが少なくなかった。そこで、こうした制限を排し、試料周辺に大きな空間を確保して大型の試料環境装置の設置を可能にするために、我々は、回折計測汎用フレームの整備を行った。

回折計測汎用フレームは、主にヘキサポッド搭載試料ステージと検出器保持用ロボットアームで構成さ

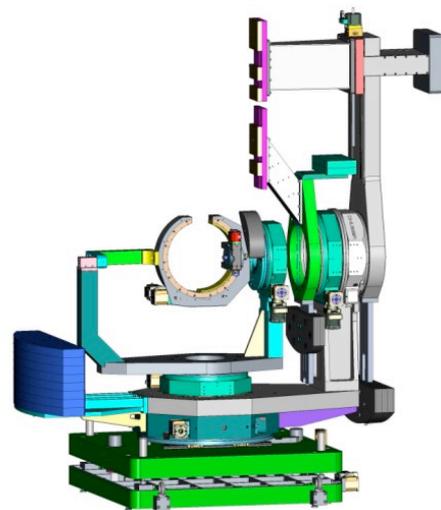


図 2 実験ハッチ 1 に設置された多目的 6 軸回折計。

れる (図3)。ヘキサポッドは、試料の位置 X, Y, Z および傾き Rx, Ry, Rz を自由に制御可能である。本装置では、ヘキサポッドに大型の XZ ステージおよび回転ステージが組み合わされ、試料の位置、方位の制御が可能である。装置の耐荷重は 250 kg となっており、大型の試料環境装置の設置が可能な性能をもっている。

この試料ステージに、検出器保持のためのロボットアームが組み合わされる。ロボットアームは最大積載荷重 25 kg、リーチ範囲約 2 m である。ロボットアームの先端には 2 次元検出器が取り付けられる。カメラ長は 0.1 ~ 1 m 以上 (特定の角度では最大 1.5 m 程度) の範囲で自由に設定できる。散乱角として、カメラ長が 1 m の場合に、試料を原点とし、X 線の光軸を基準として水平方向に約 $\pm 60^\circ$ 、垂直方向に約 60° の範囲をカバーできるように設計されている (図4)。搭載する検出器は、PILATUS X 300K である。

本装置は、主にユーザーが試料環境装置を持ち込んで実験を行うことを想定して設計されたものである。実験室で使用されている装置そのもの、あるいはこれに近い装置を搭載できる他、製造プロセスの再現装置などの大型の試料装置を用いた in-situ/operando

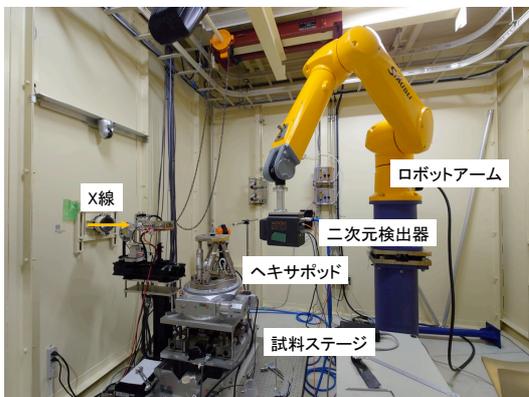


図3 回折計測汎用フレームの写真。

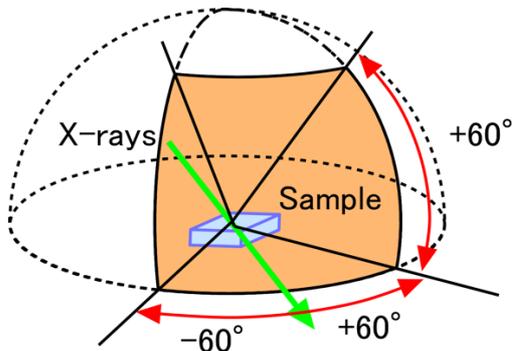


図4 カメラ長を 1 m とした場合のロボットアームによる検出器位置の角度範囲。

測定なども可能になると期待されている。現在、2022B からの共用開始に向けて装置の立ち上げ調整を進めている。

5. 高分解能粉末回折装置 (実験ハッチ 3)

実験ハッチ 3 に新たに設置された高分解能粉末回折装置は、高輝度高エネルギー X 線の利用により学術・産業界ユーザーの X 線回折、散乱を用いた分析に対する様々な試料環境下におけるプロセスの解明など多様なニーズに対応することを目的として整備している。利用可能なエネルギーは 16~70 keV 程度であり、高エネルギー X 線を利用した高い Q 領域の測定から、ミリ秒レベルの時間分解能および高い角度分解能を有する粉末回折パターンを計測することが可能となっている。ターゲットとして、結晶性材料、乱れた結晶材料からナノ粒子に渡り、粉末試料の定性分析、リートベルト解析や Pair Distribution Function (PDF) を用いた構造解析により、材料物性研究に至るまで幅広い分野を対象としている。自動粉末回折計測に加え、キャピラリ試料の準備のための自動粉末充填装置とも連携しており、粉末回折実験における一連の作業・計測は自動化されている。また、自動機器切替システムも搭載されており、1 辺 600 mm 程度、耐荷重 300 kg 程度まで持込装置を自動大型定盤ステージ (θ , XYZ 軸) に搭載可能であり、その定盤ステージを回折計側に自動で挿入する機構を有している。この機構により広い試料空間を利用した様々な in-situ/operando X 線回折実験が可能である。

導入された装置の写真を図5に示す。回折計は $\theta/2\theta$

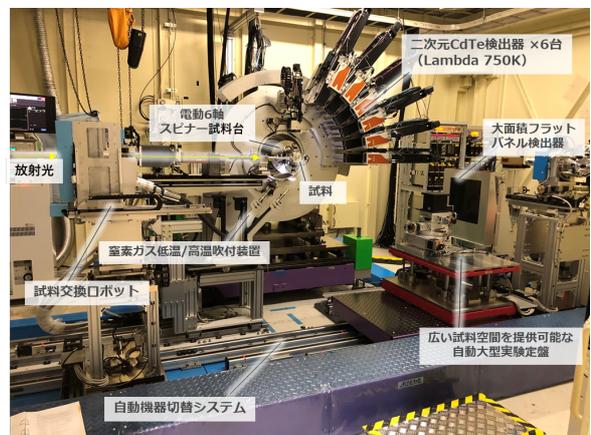


図5 新たに BL13XU の実験ハッチ 3 に設置された高分解能粉末回折装置の写真。

の 2 軸回折計であり、6 軸高速スピナー (200 rpm) 試料台が回折計に搭載されている。スピナー試料台には小型の試料セルを搭載することも可能であり、試料ホルダーやその他多くの機器において、BL02B2 の粉末回折装置と互換性を有している。2θ 円盤上には、電動の 6 軸検出器アームが搭載されており、試料検出器間の距離 (600-1100 mm) は可変である。アーム上には、高エネルギー X 線対応の 2 次元 CdTe 検出器 Lambda750K が 6 台搭載されており、試料-検出器間の距離は、630 mm, 1050 mm の距離が典型的な利用であり、角度分解能 $\Delta 2\theta$ はそれぞれ 0.005, 0.003° である。検出可能な 2θ の範囲は 1~80°, オペランド計測用のシングルショットモードでは 1~40° が利用可能となる。また、回折計と独立して、窒素ガス低温/高温吹付装置の温度可変ユニット、大面積フラットパネル検出器ユニットを組み合わせた実験も可能である。大面積フラットパネルは、XYZ ステージ上に搭載されており、試料-検出器間の距離は 400-1800 mm まで可変である。図 6(a) は Lambda750K 検出器を用いて 35 keV で測定した CeO₂ 試料、図 6(b) は

は大面積フラットパネル検出器を用いて 60 keV で測定した LaB₆ 試料の粉末回折データを示している。これらデータはそれぞれ、1 秒と 10 秒の積算時間で計測しており、短時間の計測においても結晶構造解析が可能な回折データが得られている。なお、Lambda 検出器はビームラインで利用可能な 16-70 keV 程度の高エネルギー X 線を用いた計測に対応しており、ビームラインの標準的な測定やミリ秒オーダーなど高速な in-situ 計測に Lambda 検出器を用いる。大面積フラットパネル検出器は 2θ の計測可能な角度領域および角度・時間分解能については多連装 Lambda 検出器システムより劣るが、アジマス方向の広い領域を撮像することが可能であり、デバイリング全体の可視化が必要となる合成プロセスなどの in-situ 計測に活用するために整備されている。試料環境については、窒素ガス低温/高温吹付装置が常設されており、90 K から 1100 K まで、試料交換ロボットを組み合わせることで、温度可変を含めて最大 100 試料の自動測定が可能である。

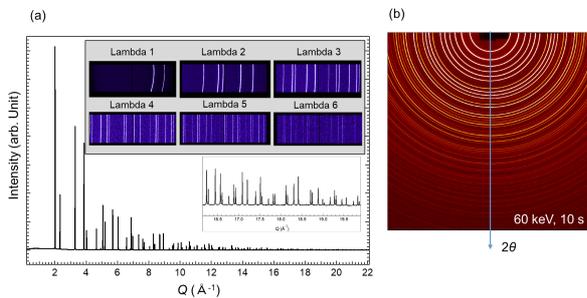


図 6 (a) 35 keV の X 線を利用して Lambda750K 検出器 6 連装で計測した CeO₂ の粉末回折データ。積算時間は 1 秒である。挿図は、1 次元回折データのもととなる 2 次元回折像の一部を示している。(b) 60 keV の X 線を利用して大面積フラットパネル検出器で計測された LaB₆ の 2 次元粉末回折データ。

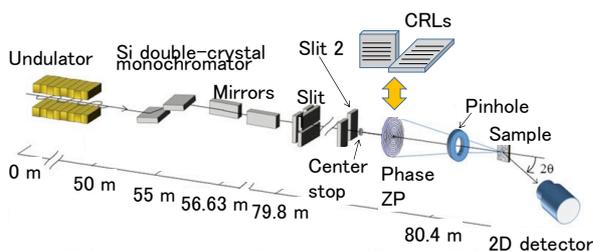


図 7 ナノビーム X 線回折装置の概要。

6. ナノビーム X 線回折装置 (実験ハッチ 4)

ナノビーム X 線回折装置は、装置の変更はなく、以前の装置を継続して利用する。そのため、大きな変更はないが、光学系のアップデートにより、X 線の質が向上している。

図 7 に装置の概要を示す。集光素子として、当初はフレネルゾーンプレート (FZP) を用いて 15 keV 以下のナノビームを形成していた¹¹⁾。これに加え、屈折レンズ (CRLs) の開発を行い、35 keV までの高エネルギー X 線ナノビームの形成に成功している。各エネルギーにおけるナノビームの性能を表 1 に示す。

表 1 ビームサイズとフラックス (データはビームライン光学系更新前のもの)

Energy (keV)	Device	Beam size (μm)		Flux (photon/sec)
		H	V	
8	FZP	0.24	0.31	1.34 × 10 ⁹
20	CRLs	0.26	0.34	1.52 × 10 ⁹
25	CRLs	0.31	0.25	1.30 × 10 ⁹
30	CRLs	0.38	0.29	1.71 × 10 ⁹
35	CRLs	0.59	0.32	1.00 × 10 ⁹

光学系のミラーの更新に伴い、集光素子に入射する X 線の均一性が高くなったことで、より効率よく X 線の集光が可能になった。例として、8 keV の場合に、FZP による集光ビームのフラックスが数倍になっていることを確認している。また、72 keV までの高エネルギー X 線が高フラックスで利用できるようになったことを受け、現在、さらなる高エネルギー X 線の集光技術開発を進めている。

7. 最後に

BL13XU では、2022 年の回折ビームライン再編に伴い、大幅な装置の新規導入・移設が行われた。また、2022B 期からは年 6 回募集に移行するなど、制度面での変更も行われる。このため、これまでのユーザーの方々には戸惑われることも多いかもしれない。

今回の BL13XU の整備は、これまでのユーザーが実施してきた実験課題は同じ水準で実施できるように配慮した上で、さらに自動化などの利便性の向上、新たな測定ニーズに対応可能な装置のアップグレードなどを盛り込んだものである。このため、これまで以上に有効にビームタイムを利用していただけると考えている。

なお、紙面の関係で紹介できなかった装置の詳細なスペックなどについては、公式 HP[®]をご参照いただきたい。

謝辞

本稿はビームライン担当である我々が代表して執筆しましたが、理研・JASRI の多くのスタッフが協力し、今回のビームラインのアップグレードが当初計画のスケジュール通りに実現しました。

光学系更新は JASRI ビームライン技術推進室（大橋、山崎、仙波、岸本、清水康宏、坪田、小山、齊藤、清水冴月、松崎、竹内、三浦各氏）を中心に、設備更新では理研の菅原氏をはじめとするエンジニアリングチームのスタッフ各位、またビームライン制御系更新では、理研の城地、本村、中嶋、渡邊各氏らが、互いに連携しつつ、それぞれの専門分野の最適設計や更新計画の立案、立上げ調整を担いました。

ビームライン再編について、理研の矢橋ディレクター、JASRI 放射光利用研究基盤センターの坂田副センター

長、JASRI 回折・散乱推進室の玉作室長、杉本 TL、今井 TL、産業利用・産学連携推進室の佐藤室長代理が取り纏めを行いました。

この他にも、多くの方々のご尽力を頂きました。皆様に心より感謝申し上げます。

参考文献

- [1] Y. Imai, K. Sumitani, S. Kimura: *AIP conf. Proc.* **2054** (2019) 050004.
- [2] http://www.spring8.or.jp/wkg/BL13XU/instrument/lang/INS-0000000445/instrument_summary_view

隅谷 和嗣 SUMITANI Kazushi

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

河口 彰吾 KAWAGUCHI Shogo

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

山田 大貴 YAMADA Hiroki

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

小林 慎太郎 KOBAYASHI Shintaro

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

小金澤 智之 KOGANEZAWA Tomoyuki

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

e-mail : koganeza@spring8.or.jp

ロシャンタ クマーラ Rosantha KUMARA

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

BL40B2 への液体試料交換用アーム駆動機構の導入

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

太田 昇

SPring-8 BL40B2 は X 線小角散乱法¹⁾が利用できるビームラインである。主にソフトマテリアルが対象とされる。液体を試料とした散乱実験は供用初期から実施されている手法²⁾のひとつであるが、最近では本ビームラインの半数近くを占める実験法として展開されている。この手法では、水などの溶媒に粒子などを分散させた溶液を対象とし、分散体からの構造情報を取得する。回折斑点やデバイリングを得る回折実験と異なり、本手法では溶液の散乱プロファイルから埋もれた分散体の情報を掘り起こすことになるが、事前に溶媒の散乱を取得して、溶液データの差分処理を行う必要がある。しかしながら、溶媒と溶液の散乱を取得するときに、それぞれ異なるキャピラリー管を使用すると目的の情報を取り出せない状況に陥ることがある。これは、光路長やガラスの厚さなどのキャピラリー管の個体差による違いと考えられている。同じキャピラリー管や試料セルを使い続け、内部の液体試料のみを入れ替えることが、液体試料の散乱実験で広く採用されている実験法である。

このような液体の散乱実験において利用者の負担を軽減する目的で、液体試料交換用のアーム駆動機構

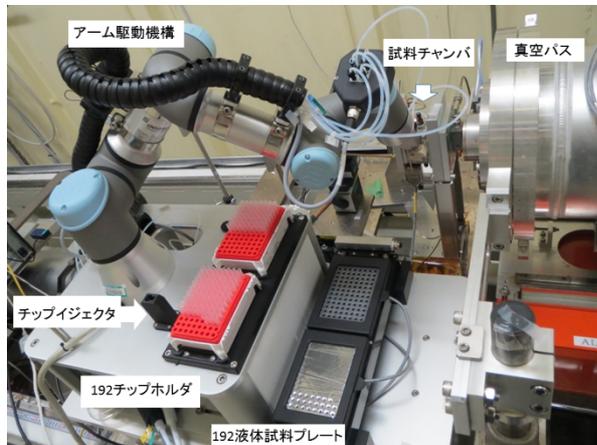


図 1 液体試料交換用のアーム駆動機構をビームラインに設置した様子

(Xenocs Inc., France) が導入された (図 1)。

この役割は、ヒトの手で行う作業を電動の駆動機構によって再現させることにある。図 2 には試料交換の 1 サイクルが模式的に表わされている。ピペッティング操作としては、(1) チップボックスから、新しいピペッティングチップ (以下チップ) にノズルをアームの動作で押し付けてそれを拾い上げる。(2) well 内の液体にチップ先端を沈め、液体試料をチップに繋がった電動シリンジポンプで吸引する。(3) ファネル部に液体試料を運搬注入する。(5) イジェクターにチップを引っかけてそれを落とし使用済みとして破棄する。

アーム動作としてはこのピペッティングの他に、キャピラリー管を繰り返し使用するための洗浄・乾燥操作があり、図 2 (4) に示されている。2 洗浄液、水、乾燥用エアの 4 種からシーケンスを組むことで、自動測定においてファネル部にアーム先端のノズルを押し付けたフロー洗浄・乾燥が行われる。

図 2 (3) には X 線の照射による散乱測定が示されている。アーム駆動による液体注入と連動して、チャンバー内に横たわるキャピラリー管に液柱状の試料が吸引されてくる。このとき液柱が適切な X 線照射領域に画像認識で自動停止するので、利用者は特別な注

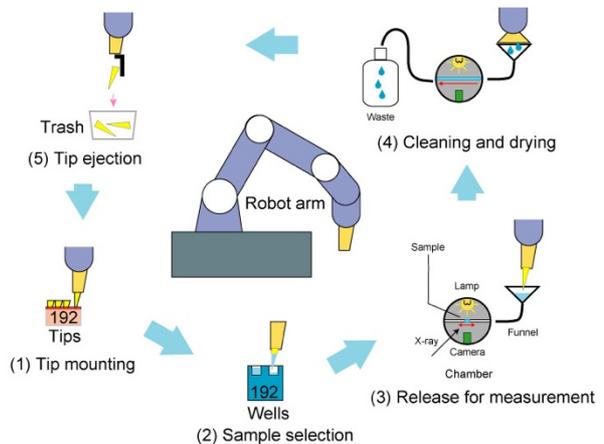


図 2 アーム駆動機構の溶液試料の交換サイクル

意を払わなくても続く X 線照射に移行できる。X 線照射時、X 線ダメージを低減するために液柱を振動させながら撮像するオシレーションモードと液柱を動かさない固定モードの選択が必要である。

前述の 1 サイクルを基本とする自動測定を繰り返すための試料数および量の情報を提示したい。このシステムにおける試料の収納については、96 well PCR プレート (1 well あたり最大容量 0.2 ml) を 1 度に 2 セット指定温度 (例えば 25°C) で保管でき、1 試料 1 測定とするならば 192 試料の連続測定が可能となる。直径 1.1 mm キャピラリー管を使用した場合、溶液の標準量は 10 μ l であるが、キャピラリー管を太くしたり、測定時のオシレーションモードを使用したりすることで使用量が増加する。なお、試料と同じ数の 192 個の使い捨てチップはチップボックスに配列され、試料ごとに付け替えられる。測定後の液体試料は洗浄液と共に廃液タンクに保管されるため、測定後の液体試料を回収できないことに注意が必要である。

連続測定を行うためには、PCR プレートの well 番号ごとに測定モード、X 線照射時間および撮像回数のテキストベースのリストを作成する。目安としては、露光時間を 100 秒間 1 回に設定した場合、処理時間は 1 サイクルあたり 5 分程度であった。

この液体試料交換用のアーム駆動機構については 2022B 期から本手法の一般課題の募集が開始された。現在のところ SPring-8 に来所いただいた上での自動連続測定あるいは実験ホールからのマニュアル操作測定に限られることに留意いただきたい。

参考文献

- [1] Th. Zemb, P. Lindner: *Neutron, X-rays and Light. Scattering Methods Applied to Soft Condensed Matter* (2002) Elsevier.
- [2] M. Hirai et. al.: *J. Synchrotron Rad.* **9** (2002) 202-205.

太田 昇 OHTA Noboru

(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 : noboru_o@spring8.or.jp

SACLA におけるリモート実験システムの開発

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

宮西 宏併、本村 幸治

公益財団法人高輝度光科学研究センター XFEL 利用研究推進室

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

藪内 俊毅、城地 保昌

1. はじめに

新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) の感染拡大は、社会に大きな影響を及ぼした。SACLA における研究活動も例外ではなく、2020 年 4 月に第 1 回目の緊急事態宣言が発出されたことを受け、2020A 期のユーザー利用課題はその多くが秋以降に延期の上で実施された。その後も海外からの入国には厳しい制限が課されたため、海外研究機関に所属するユーザーが SACLA に来所して実験することは、ごく限られた場合を除いて困難な状況が続いた。結果的に、2020 年度と 2021 年度の海外ユーザーによる実験の多くはキャンセルされるか、もしくは国内の共同実験者らが実験実務の大部分を担う形で実施された。

SACLA の利用研究課題については、従来から海外ユーザーの占める割合が比較的高く、それらのユーザーの来所が困難な状況が継続することは、SACLA における研究活動に大きな影響を与える。加えて、業務のオンライン化、働き方の多様化が急速に浸透している昨今、ユーザーが来所可能な場合であっても、実験に関わる全てのメンバーが一斉に来所しないと実験できない従来の実施形態が今後も必ずしも最適とは限らない。このような状況において、SACLA での研究活動を維持し、発展させていくための一つの方策として、「リモート実験」の実現が要望されるに至った。ここで言うリモート実験とは、SPring-8/SACLA サイト外などの任意の場所から SACLA ビームラインに配置された実験機器を遠隔操作して実施する実験を意味する。

このような背景のもと、SACLA では 2020 年度後半からリモート実験システムの開発に着手した。その際、ユーザーグループのうち少なくとも一部は来所し、

この来所ユーザーとその他のリモートユーザーが共同して実験を実施する「ハイブリッドリモート実験」の形態を基本形とした。ただし、来所ユーザーがおらず、リモートユーザーのみで実施する「完全リモート実験」の可能性も選択肢の一つとしては想定している。

数度の所内の試験を経て開発されたシステムは、2021B 期から試験的な運用が開始され、これまでにいくつかの SACLA 利用研究課題がリモート実験として実施されている。本稿では、今回開発したリモート実験システムの詳細とその運用について報告する。

2. SACLA のリモート実験システムに求められる要件

従来の SACLA の実験形態では、ビームラインに配置された標準的な実験機器の操作は、実験ホールに設置された専用端末から行われる。実験ホール以外の任意の場所から実験機器を遠隔操作し、リモート実験を行うためのシステムには、以下に挙げる仕組みが最低限必要となる。

- ・現場作業者の安全を担保する仕組み
- ・遠隔地から実験機器へアクセスする仕組み

実験ホールの外から実験機器を操作する場合、特に視覚、聴覚等に頼った感覚的な情報の取得が、従来の操作時に比べて著しく制限される。例えば実験ハッチ内の機器を操作する場合、従来であれば機器の近くに人が居るかどうか確認し操作の可否を判断することは容易である。しかし、遠隔操作の場合を考えると、その判断に必要な情報を得ることは容易ではない。そのため、リモート実験では現場作業者の安全に関わる機器の操作を必要に応じてシステムで制限する必要がある。

一方で、放射線安全については、リモート実験にお

いても従来通りのビームラインの安全インターロックシステムによって担保できる。すなわち、関係するハッチの閉鎖が確認され、安全インターロックシステムの安全条件が満たされない限り、XFEL をハッチ内に導入することはできない。

今回開発したリモート実験システムでは、この安全インターロックシステムの条件を、実験機器の操作可否条件としても利用することとした。XFEL が導入できる条件が整っている時に限って機器の遠隔操作を許可するシステムとすることで、現場作業者の安全を脅かすような機器操作が行われないことを担保する。この一貫した基準により、リモート実験全体の安全を担保することができる。ただし、実験によっては光学レーザーや特殊な装置に関する安全対策が追加で整備されていることがある。リモートシステムには、必要に応じてこれらの安全対策に対応できることが求められる。

このように、リモート実験では安全を担保するために機器の操作に一定の制限が課されることになる。その一方で、安全に関わらない機能はできるだけ制限せず、従来と同様の作業性を維持することが望ましい。例えば、実験で利用されている検出器の画像表示等の機能は、遠隔地からであっても可能な限り表示性能が劣化しないことが求められる。また、実際のユーザー実験ではすべての機器操作を遠隔で行うとは限らない。ハイブリッドリモートの形態では、実験ホールに

いる現場ユーザーとリモート実験ユーザーが協力して実験を遂行することになる。それ以外の場合でも、施設側の調整作業と遠隔ユーザーの作業などのために、現場と遠隔のスムーズな連携の実現は欠かせないと考えられる。

以上のように、リモート実験システムの開発においては、遠隔地から SACLA へアクセスして実験実務を遠隔で高水準に実現できること、かつ、そのために現場（実験ホール内）のシステムと高いレベルで連携できることが重要な要素となる。同時に、これらが適切なセキュリティを持って実現されることが求められる。

3. SACLA で開発されたリモート実験システム

SACLA の実験ホールには、それぞれの実験ステーション毎に Opcon01、Opcon02 という実験機器を操作するための専用端末が設置されており、従来からユーザー実験に広く利用されている。今回、リモート実験のシステムを開発するにあたって新規の専用端末 Opcon03 を用意し、遠隔操作はこの Opcon03 を通じてのみ許可されるようにした。これは前節で述べた安全担保のための遠隔操作の制限を集中的かつ簡便に実現すると同時に、従来通りの現場作業で使用される Opcon01/02 の環境を維持するためである。

SACLA で利用されている標準的な実験機器のうち、操作の際に安全への配慮が必要となるものにはステ

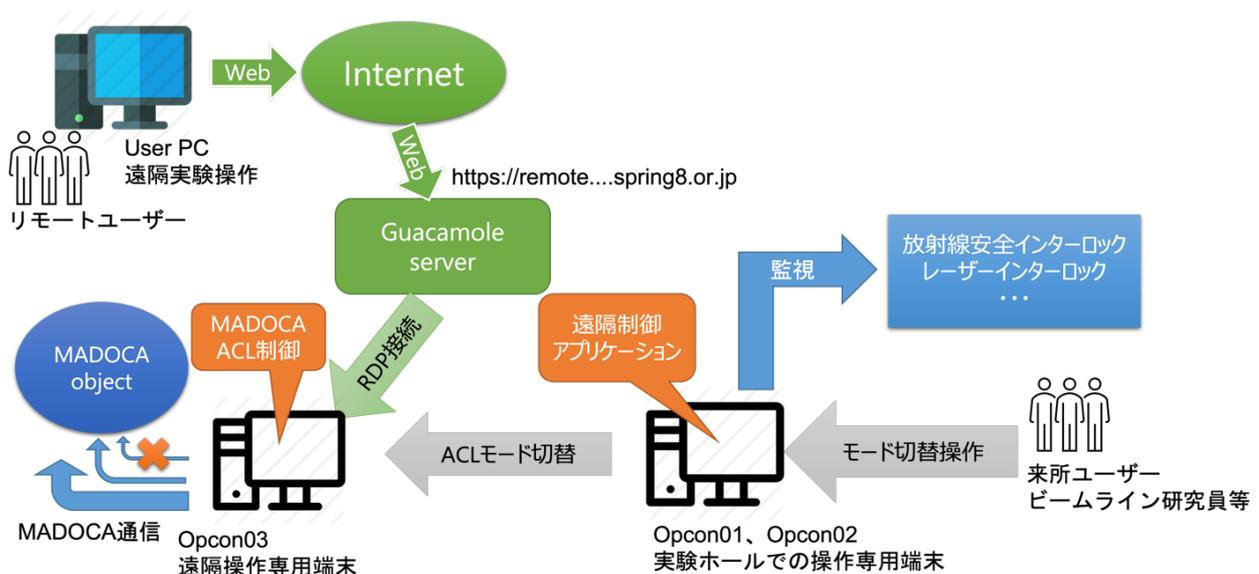


図1 SACLA リモート実験システムの概略

ッピングモーター付き自動ステージなどがある。これらの機器の操作は MADOCA¹⁾の通信で制御されているため、その操作の可否は MADOCA-ACL (アクセス制御リスト) の設定により一括で制御することができる。そこで、XFEL 導入可否の条件を参照して Opcon03 の MADOCA-ACL を動的に変更する仕組みを導入することで、安全担保のための遠隔操作の許可や制限を自動で切り替え可能なシステムとした (図 1)。

開発したりモート実験システムでは、遠隔地から Opcon03 への接続には、SACLA 用に準備されたブラウザベースのリモートデスクトップサービス Guacamole²⁾経由でリモートデスクトッププロトコル (RDP) を用いる。実際の機器操作は Guacamole 上の GUI の操作で行う (図 2)。ここで、ユーザーはただ一つの GUI アプリケーション (SACLA Launcher) とこの Launcher 上で指定されている他の実験アプリケーションのみが起動できるよう Linux Gnome デスクトップの設定がなされている。同様に、右クリック等の操作やターミナルの起動も不可としている。これらの制限により、遠隔操作で行えることと行えないことを施設側で明確に選択できるようにしている。

なお、実際に遠隔操作を有効化するには、SACLA に

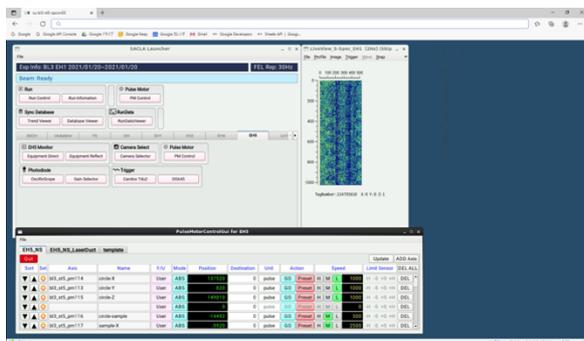


図 2 Guacamole 経由での遠隔操作画面の例

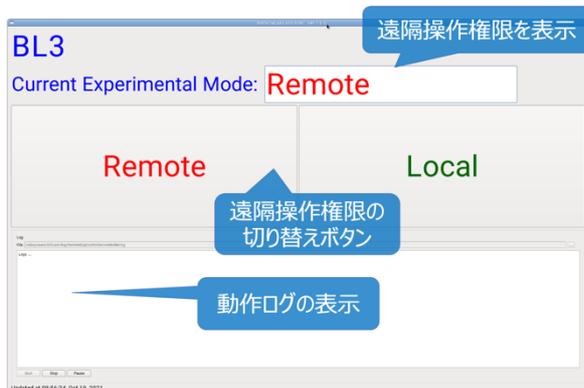


図 3 遠隔制御アプリケーションの表示例

来所しているユーザーやビームライン研究員等の許可判断を必要とする。すなわち、Opcon03 からの操作権限 (操作許可、操作制限) は、その Opcon03 が設置されているステーションの Opcon01/02 上で動作している遠隔制御アプリケーションからのみ指定できる (図 3)。このアプリケーションは、遠隔操作許可 (リモート) 状態と遠隔操作制限 (ローカル) 状態の切り替え指示に加え、前述の XFEL 導入の可否やレーザーインターロック等の状態といった必要な監視を行い、Opcon03 の動作モード、すなわち MADOCA-ACL の設定変更を自動的に行う。また、現在の状態の表示、動作ログの表示とファイルへの出力も担当する。

4. SACLA における初めてのリモート実験

前節で述べたシステムを用いたユーザー実験が、2021B 期から試験的に行われている。ここでは、それらの初期のリモート実験の概要を紹介する。

なお、SACLA では、リモート実験システムの開発と並行して、実験基盤側の改良にも取り組んだ。その際、他の実験基盤に先行して 2 つのハイパワーレーザー実験基盤^{3,4)}、特に BL2 EH6 におけるハイパワーフェムト秒レーザー実験基盤⁴⁾でのリモート実験システムの整備を進めた。これは、当該実験基盤での現場作業に占める施設側の分担が従来から大きく、比較的リモート実験を実現しやすいと考えられたためである。

このような流れもあり、SACLA での初めてのリモート実験は 2021B 期の後半に EH6 にて行われた。実験責任者を含む海外ユーザーの多くは入国制限のために来所できず、数名のみが来所するハイブリッドリモートの形態での実験となった。実験装置のセットアップや XFEL および光学レーザーの調整作業などは従来と同様に施設スタッフが行った。主に試料準備作業とユーザー持ち込み機器の設置・調整作業といった現場作業を来所ユーザーが担当し、計測器の精密調整やビームライン機器の制御、データ取得操作を海外のユーザーがリモート実験システムを用いて行った。データ解析も SACLA High Performance Computing (HPC) システム⁵⁾を利用してリモートで行われた。この HPC を利用したデータ解析は、従来通りの実験形態でもリモートで実施可能である。リモートユーザーと来所ユーザーおよび施設スタッフとのコミュニ

ケーションにはオンライン会議ツールおよびチャットツールが利用された。初めてのリモート実験ということもあり、リモートシステムの接続が予期せず切断されるなどのトラブルはあったものの、実験は総じて順調に行われた。なお、この接続安定性に関する課題については、本実験後に対処済みである。

以下は SACLA における初めてのリモート実験を行った所感である。

リモートシステムを用いた実験機器の操作は、画面更新にわずかな遅延が発生することを除けば、Opcon01/02 から操作するのとほぼ同様の操作性であった。そのため、ビームタイム中の実験ユーザー作業の大部分が専用端末からの実験機器の操作となるような実験であれば、他に実施の手段がない場合には完全リモート実験の実施も技術的には可能であると考えられる。反対に、完全リモート実験に向かないものとしては、オンサイトでの試料調整が必要な場合やユーザー持ち込み機器が利用される場合、また、現場での試行錯誤が要求される可能性の高い挑戦的な実験などが考えられる。しかし、これらのような場合であっても、ハイブリッドリモートの形態で一部作業をリモートユーザーに分担できれば、来所ユーザーの負担が軽減され、効率的な実験実施が期待できる。

当然ながら、リモート実験では実際の現場を見ながらの対面の議論ができないため、適切なコミュニケーション手段の確保が従来以上に重要である。今回開発されたリモートシステムを最大限に活用するためにも、実験参加者と施設スタッフの間で事前に十分協議されていることが望ましい。

5. 今後の展開とシステムの利用にあたって

本稿で紹介した SACLA におけるリモート実験システムは、ハイパワーフェムト秒レーザー実験基盤で 2021B 期に試験運用を開始した後、SACLA の他の実験基盤への展開を進めている。2022 年 7 月現在、海外ユーザーの来所も比較的容易になりつつあるが、今後も来所できない場合が依然として想定される。今回開発したリモート実験システムは、SACLA での研究活動を維持し、発展させていくための重要な手段の一つとなると期待される。

なお、リモート実験が実施できるかどうかは実験に

使用する装置や条件によって異なり、少なくとも現状ではリモート実験に対応できない場合や新たなシステム開発が必要な場合がある。SACLA 利用研究課題をリモートで実施することを希望される場合は、SPring-8/SACLA のリモート実験申請用のウェブサイト⁶⁾に掲載されている「SPring-8/SACLA 遠隔接続ガイドライン」を参照した上で、十分事前に担当研究員へ相談いただきたい。

参考文献

- [1] 古川行人他:SPring-8 利用者情報 **19**(2014) 392-395.
- [2] Apache Guacamole (<https://guacamole.apache.org/>)
- [3] Y. Inubushi *et. al.*: *Appl. Sci.* **10** (2020) 2224.
- [4] T. Yabuuchi *et al.*: *J. Synchrotron Rad.* **26** (2019) 585-594.
- [5] <http://xfel.riken.jp/users/bml09.html>
- [6] <https://dncom.spring8.or.jp/service/remote-apl/index.html>

宮西 宏併 MIYANISHI Kohei

(国) 理化学研究所 放射光科学研究センター
〒679-5148 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-0802 ext 9751
e-mail : miyanishi@spring8.or.jp

本村 幸治 MOTOMURA Koji

(国) 理化学研究所 放射光科学研究センター
〒679-5148 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-0802 ext 9729
e-mail : motomura@spring8.or.jp

藪内 俊毅 YABUUCHI Toshinori

(公財) 高輝度光科学研究センター XFEL 利用研究推進室
(国) 理化学研究所 放射光科学研究センター
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-0802 ext 7885
e-mail : tyabuuchi@spring8.or.jp

城地 保昌 JOTI Yasumasa

(公財) 高輝度光科学研究センター XFEL 利用研究推進室
(国) 理化学研究所 放射光科学研究センター
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-0802 ext 3363
e-mail : joti@spring8.or.jp

利用系活動報告

放射光利用研究基盤センター 構造生物学推進室 関連構造解析チーム

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 構造生物学推進室

熊坂 崇

1. はじめに

本年（2022年）4月、タンパク質結晶解析推進室は新たに3名のスタッフを迎えるとともに構造生物学推進室と改称し、合わせて当チームの名称も結晶解析チームを改め新しくなった。名称の変更は、これまでの活動を一新して新たな目標に進むことを反映したものである。そこで本稿では活動目標を含めた今後の取り組みについて紹介したい。

2. 生物学における関連構造解析

生命活動において重要な役割を担うタンパク質は、アミノ酸が脱水縮合した高分子であり、その機能発現のために複雑な高次構造をとって折りたたまれる。このタンパク質の立体構造は生命科学や医薬品開発の基盤となる重要な情報であり、構造と機能の関連を探索する構造生物学として分子科学的なメカニズムを明らかにしてきた。一方で、生命科学分野全体としては、各タンパク質に関するアミノ酸配列から立体構造、発現や病理、さらには酵素反応機構や分子間相互作用に基づく活性化機序とそのキネティクスなど、さまざまな側面について情報が集積され、分子ネットワークからなる複雑系である細胞の記述が進められている。

このように生命科学のさまざまな分析手法が進展し、生体構成分子の研究が網羅的に進められていく中で、分子を総合的に解析する意義がさらに高まってきた。当室ではもう一つのチームである測定技術開発チームが、放射光における結晶回折測定技術に関する支援や高性能化に取り組んでいる。しかし、構造生物学研究が多様化し、タンパク質結晶解析だけの取り組みでは目的とする情報を得るのに不十分な事

例も増えている。このような現下の状況を鑑みると、利用者にとって試料準備が困難であっても、多面的に構造解析を支援していく活動の必要性が高まっていると感じている。

これらのニーズに対応するため、構造生物学推進室 関連構造解析チームでは共用ビームライン BL41XU・BL45XU や理研ビームライン BL26B1 の利用支援にとどまらず、透過型クライオ電子顕微鏡 (CryoTEM) による単粒子解析や結晶試料調製環境の整備と支援に活動の場を広げて、総合的な構造生物学研究の支援を目指している。以降は、これらの共用施設の運用と、関連構造解析に資する技術開発について述べる。また、外部資金活動を担う JASRI 研究プロジェクト推進室 生命科学・創薬支援基盤グループと密接に連携しているため本稿でも触れ、SPring-8 サイトとしての構造生物学の支援の取り組みを紹介したい。

3. ビームラインの運用

当チームのビームライン運用に関する最も主要な活動は、特に BL45XU における自動測定の実施である。理化学研究所放射光科学研究センター（理研 RSC）の平田邦生博士らによって開発が進められてきた自動測定ソフトウェア ZOO¹⁾は、ビームラインに設置した回折計や検出器、サンプル交換ロボットを結合して制御し、X線による試料のプレスキャンによって、微小な単結晶の空間配置を検出し、微小ビームによってそれらの回折像を最適条件で取得する。利用者は試料を自分のラボで凍結して、ドライシッパーにて液体窒素温度で SPring-8 まで輸送すれば、スタッフによる試料の装置への搭載を除き、自動で測定が行われる。

さらにソフトウェア KAMO²⁾は回折像から構造因子振幅を自動で計算する。

このように、利用者は施設を訪れることなく回折データを取得することができるため、来所が前提であった実験とは大きく利用方法が変化している。従来は試料を多数準備して 1 回のまとまったビームタイムで測定を行っていたが、実験機会を増やしてフィードバックの周期を短くできるよう、2 時間単位での運用を行っている。また、自動測定では 1 試料あたりの時間が短いために頻繁な試料交換が必要であるが、現時点で試料交換装置の最大試料搭載数は 128 個で、半日強の連続運転が終わると人手での作業が必要となっている。このため、測定技術開発チームと連携して、大容量の試料を扱う自動ストッカーの構築とその運用の準備を急いでいる。

さらに、自動測定の実施に伴い、試料の授受、結果の転送、データのコピーなどユーザーとビームラインの間で発生するやりとりは著しく増大している。当チームでは測定技術開発チームおよび情報技術推進室と連携して実験内容のデータベース化とユーザーインターフェースの開発を行っており、円滑かつ正確な自動測定実施のための利用システムの高度化を進めている。

一方、後述する構造生物学における CryoTEM の利用の拡大は、結晶解析の意義を相対的に低下させている事実は否めない。しかし、CryoTEM は結晶解析の完全上位互換ではなく、相補的に利用すべきものである。結晶構造解析の優位性のひとつは XFEL におけるシリアルフェムト秒結晶解析 (SFX) 法の成功に代表されるように、室温など活性温度での測定やそれに基づく分子の運動性など動的性質の解明に有効である。自動化の整備が一巡しつつある中、測定技術開発チームではこれらの測定の整備をはじめているが、タンパク質の動的性質は試料調製や測定時の試料環境にも深く関わっていることから、本チームとして開発にも関与していく。また、創薬研究における標的タンパク質と薬剤の複合体の解析において、迅速な測定ができる放射光結晶解析は、試料を選ぶがコスト的にも優れた方法である。BL45XU では自動測定を用いることで 1 日あたり 200 種の化合物複合体の結晶から回折データを取得できることから、結晶を用いた化合物スク

リーニングなど、一貫して創薬研究に資することができるパイプラインの構築を進めている。

このように、自動測定をはじめとして多様化する利用法に対応して、課題の採択ルールやシフトの配分方法、さらには放射光利用の知識を強くは求めない使用方法に配慮した普及啓発活動も当チームの業務の一つとなっている。特に、創薬研究を代表とする成果専有利用とアカデミアが主体の成果非専有利用では、求める利用方法も異なっている。さらに、来所がないことは、利用者施設スタッフの情報の交換にも大きな障害になりつつある。従来、当チームでは Web ページ (<http://stbio.spring8.or.jp/>) の充実にも時間を割いてきたが、利用者の声を聞くとともに、運用面への反映もこれまで以上に取り組んでいく。

4. CryoTEM の運用

Science 誌に「分解能革命」と題された総説記事³⁾が発表された 2014 年以降、世界的に CryoTEM の設置台数や共用施設の数が大幅に増加し、この方法で解析されたタンパク質構造数が飛躍的に増え、EMDB や PDB などのデータベースへの登録が進んでいる。海外では 2008 年頃の英国による CryoTEM の整備を皮切りに、2015 年頃からは放射光施設である Diamond Light Source や ESRF での共用利用がはじまった。

日本では、日本医療研究開発機構 (AMED) の支援事業などにより導入が進められてきた。SPring-8 でも準備を進めてきたが、2021B 期より共用 CryoTEM の利用が可能となっている。詳細については、SPring-8 UI サイトの「クライオ電子顕微鏡の共用について」



図 1 共用 CryoTEM 装置。(左)EM01CT: JEOL CRYO ARM 300 (JEM-Z300FSC)、(右) EM02CT: JEOL CRYO ARM 200 (JEM-Z200FSC)。

(<https://user.spring8.or.jp/?p=40753>) をご参照いただきたい。本装置の運用の特徴としては、以下の点が挙げられる。1) 構造生物学分野の対象となるビームラインの付帯設備として運用し、2) 放射光ビームラインと CryoTEM の両方を利用した研究を対象とする。3) 年 5 回程度の利用希望調査によりマシンタイム配分を実施し、4) 利用は 3 シフト単位 (午前 10 時～翌日午前 10 時) で、5) 利用前講習の受講が必須となっている。

なお、原則として構造生物学における単粒子解析に用いるものであり、試料の装置への装填は施設スタッフに任されている。今やタンパク質結晶解析のビームラインでは自動測定が当たり前となっており、利用者にとっては違和感はないかもしれない。

現在 SPring-8 キャンパスには 4 台の CryoTEM が設置されており、共用の装置は図 1 に示す 2 台であるが、今後残る 2 台についても部分的な共用が検討されている。

5. 幅広い支援への取り組み

以上のようにタンパク質結晶解析においては、自動測定が放射光利用の知識を求めない使用方法を拓いたのみならず、結晶構造解析法全体の発展により、測定後の解析に関しても利用者が高い専門性が不要になってきている。かつては結晶学における位相問題もタンパク質構造解析では大きな障壁であったが、今や試料調製こそが最大の問題である。もちろんこれらの領域においても進歩は起きている。

当室の業務は放射光の利用支援とその支援基盤の高度化であるが、利用者の中には測定試料の調製や測



図 2 試料準備室 (BL45XU 外側室)

定そのものも支援して欲しいと考えている向きもあるだろう。結晶の調製に関しては、蓄積リング棟に結晶化ロボット、結晶観察装置やアコースティック分注装置を整備しており、実験課題を持っている方は利用できるようにしている (図 2)。この装置をビームラインの結晶化プレート回折計と連携して用いることで、創薬研究への応用も可能となっている^[4]。結晶化が難しい試料については、前項で述べた CryoTEM によって、性状や構造解析を行うことができる。

結晶化や CryoTEM 測定のためのタンパク質溶液試料調製からの構造解析支援については、技術相談を行うとともに、必要や実現性に応じて、研究プロジェクト推進室 生命科学・創薬支援基盤グループにて対応する。このグループは前述の AMED が実施する生命科学・創薬研究支援基盤事業 (BINDS; <https://binds.jp/>) のもとで運用しており、最先端の生命科学・創薬研究を推進するための高度な研究支援を実施する。なお、散乱・イメージング推進室との連携で、本事業のもとで SPring-8 での bioSAXS に関する支援も実施されている。

6. まとめ

以上、当チームの活動について述べてきた。同じ室にある測定技術開発チームと業務分担の線引きはわかりにくく映るかもしれないが、ビームラインの測定技術基盤のハード面を中心に扱う測定技術開発チームに対し、当チームはビームラインに付帯的な技術として位置づけられる CryoTEM や試料調製を中心として扱い、利用者との連携にも深く関わっている。今後も引き続き、SPring-8 キャンパスにおける構造生物学に関する総合的な支援を目指すため、測定技術開発チームとともに、JASRI および理研の関係するグループ、特に理研 RSC 生物系ビームライン基盤グループとの連携も強化していく。なお、当室へのお問い合わせは stbio@spring8.or.jp までご連絡ください。

参考文献

- [1] K. Hirata *et al.*: *Acta Cryst.* **D75** (2019) 138-150.
(<https://doi.org/10.1107/S2059798318017795>)

- [2] K. Yamashita *et al.*: *Acta Cryst.* **D74** (2018) 441-449.
(<https://doi.org/10.1107/S2059798318004576>)
- [3] W. Kühlbrandt: *Science* **343** (2014) 1443-1444.
(<https://doi.org/10.1126/science.1251652>)
- [4] H. Okumura & N. Sakai *et al.*: *Acta Cryst.* **F78** (2022)
241-25.
(<https://doi.org/10.1107/S2053230X22005283>)

熊坂 崇 KUMASAKA Takashi

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

SPring-8 ユーザー協同体 (SPRUC) 四季報

SPring-8 ユーザー協同体 (SPRUC) 会長

筑波大学 数理物質系物理学域 エネルギー物質科学研究センター

西堀 英治

1. SPring-8 シンポジウム 2022

SPring-8 シンポジウムは SPRUC の最も重要な行事の一つであり、2012 年度より 2019 年度まで、代表機関である大学などを会場として開催してきました。2020 年度、2021 年度は、新型コロナウイルス感染症の影響により、オンライン開催となりました。2022 年 6 月 10 日からの外国人観光客の受け入れ再開など、新型コロナウイルス感染症に対する対応が変化する中で、今年度のシンポジウムの開催について検討してきました。6 月 9 日付の SPring-8 の Web ページにもあるように、SPring-8 シンポジウム 2022 は、2022 年 9 月 25 日 (日) から 26 日 (月) の 2 日間、SPring-8 放射光普及棟大講堂・中講堂とオンラインのハイブリッド開催にて行うことになりました。2020 年度、2021 年度の 2 年間は主催が、SPRUC、RIKEN、JASRI の 3 者であったのに対し、2022 年度は、代表機関である東京大学に主催に加わっていただきます。昨年度までのオンライン開催とは異なり、今年度は、100-150 名は現地での参加も可能となる見込です。対面の議論を楽しみたいユーザーの方々については現地での参加もご検討ください。今後の進捗状況は SPring-8 の Web ページやユーザーに向けての e-mail にてお知らせする予定です。

2. 第 6 期研究会の発足

2022 年 4 月 13 日に開催された 2022 年度第 1 回 SPring-8 ユーザー協同体評議員会にて、第 6 期 SPRUC 研究会申請について報告があり、34 件の継続申請、1 件の新規申請が承認されました。第 6 期 35 研究会が発足し、新しい研究会として角度分解散乱分光研究会が立ち上がりました。SPRUC 会則にあるように研究会の役割は、SPring-8 または SACLA を利用

するサイエンス・実験技術の発展に協力し、SPring-8 および SACLA の利用促進をユーザーサイドから推し進めることです。決して多くはないですが活動補助金もありますので、ユーザーの皆様には、是非、これらの研究会に参加いただき、活発に活動していただきたいと思います。

3. SPrin-8 秋の学校

昨年は新型コロナウイルス感染症の影響で 12 月に延期された「SPring-8 秋の学校」については、今年は 9 月 4 日から 7 日の日程で開催すべく行事幹事を中心に準備が進められています。第 6 回を迎える「SPring-8 秋の学校」は、放射線業務従事者登録が必要ないことなど、SPring-8 夏の学校や講習会行事と比較して、参加の敷居が低く設定されていると感じています。ユーザーの皆様には、現在、放射光ユーザーでない周りの方々にもお声がけいただき多くの方々に参加することを望みます。

西堀 英治 NISHBORI Eiji

筑波大学 数理物質系物理学域

エネルギー物質科学研究センター

〒305-8571 茨城県つくば市天王台 1-1-1

TEL : 029-853-6118

e-mail : nishibori.eiji.ga@u.tsukuba.ac.jp

第19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。

また昨年に引き続き、SPring-8 の産業利用に関する団体からの発表も予定しており、様々な関連団体等との情報共有および連携を図ることも目的としております。

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）中性子科学センター

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】 2022年8月31日（水）11時00分～9月1日（木）17時20分まで

【会場】 神戸国際会議場

※現地開催予定

【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/2022/220831/>

申込締切：8月24日（水）17時締切

【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

SPring-8 シンポジウム 2022 ～SPring-8 がつむぐ学術と社会のリンケージ～

【趣旨抜粋】

SPring-8 シンポジウム 2022 では「SPring-8 がつむぐ学術と社会のリンケージ」をテーマとしました。SPring-8 の先端分析技術に裏打ちされた基礎研究から新たな社会基盤を構築し、その先に求められる未踏の分析アプローチに応えることが、新しい学問分野の創成に繋がります。この循環が生み出す学術と社会のリンケージ（つながり）を深めるような SPring-8 の利用を議論することにより、SPring-8 の将来ビジョンを描くことを期待します。

【主 催】 SPring-8 ユーザー協団体
(公財) 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

【開催日】 2022 年 9 月 25 日 (日) 13 時 00 分 ～ 26 日 (月) 16 時 30 分まで

【会場】 SPring-8 放射光普及棟大講堂・中講堂とオンラインのハイブリッド開催

【参加費】 参加費無料です。

【参加申込およびプログラム等詳細】

<http://www.spring8.or.jp/ja/science/meetings/2022/sp8sympo2022/>

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 16 日 (金) 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 2022 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 : sp8sympo2022@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	池端 宏之	利用推進部
	大和田成起	XFEL 利用研究推進室
	小川 浩平	企画室
	重松 秀樹	構造生物学推進室
	田村 和宏	加速器部門
	辻 成希	回折・散乱推進室
	辻本 繁樹	利用推進部
	南後恵理子	SPring-8 ユーザー協同体 (SPRUC) 編集幹事 (東北大学)
	平岡 裕治	情報技術推進室
	福井 宏之	精密分光推進室
	本間 徹生	産業利用・産学連携推進室
	森脇 太郎	分光推進室
	安武 正展	散乱・イメージング推進室
	山崎 裕史	ビームライン技術推進室
	(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.27 No.3 Summer 2022

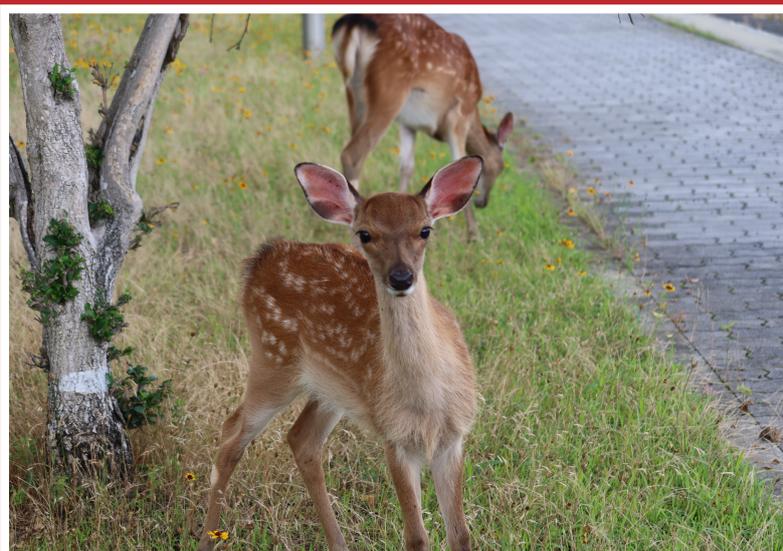
SPring-8/SACLA Information

発行日 2022年8月25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)



JASRI

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

〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都^{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/>