

SPring-8/SACLA

INFORMATION 利用者情報



SPring-8/SACLA Information

目次 CONTENTS

理事長室から 我が上なる星空と、我が内なる道徳法則

Message from President The starry sky above me and the moral law within me.

(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 171

1. 最近の研究から/FROM LATEST RESEARCH

長期利用課題報告

はやぶさ2 リターンサンプルのX線CTを用いた初期分析と詳細分析

Initial and detailed analysis of Hayabusa2 return samples using X-ray tomography

東北大學 理學研究科

Graduate School of Science, Tohoku University

立命館大學 総合科學技術研究機構

Research Organization of Science and Technology, Ritsumeikan University

(公財) 高輝度光科学研究センター 放射光利用研究基盤センター 散乱・イメージング推進室

Research and Utilization Division, Center for Synchrotron Radiation Research, JASRI

上杉 健太朗

UESUGI Kentaro

松本 恵

MATSUMOTO Megumi

土山 明

TSUCHIYAMA Akira

上相 真之

UESUGI Masayuki

竹内 晃久

TAKEUCHI Akihisa

安武 正展

YASUTAKE Masahiro 172

大学院生提案型課題（長期型）報告

放射光を利用した酢酸ビニルモノマー合成触媒の構造解析～格子間炭素の発見に基づく触媒性能の解明～

Structural Analysis of Catalysts for Vinyl Acetate Monomer Synthesis Using Synchrotron Radiation

-Elucidation of Catalytic Performance Based on the Discovery of Interstitial Carbon Atoms-

大阪大学 大学院工学研究科 応用化学専攻 固体物理化学領域

Division of Applied Chemistry, Graduate School of Engineering, Osaka University

中谷 勇希

NAKAYA Yuki

古川 森也

FURUKAWA Shinya 180

赤外分光による励起子絶縁体の高圧下電子状態の研究

Infrared study of the Excitonic Insulator State in Ta₂NiSe₅ at High Pressures

徳島大学 大学院社会産業理工学研究部 工理学域応用化学系

Department of Applied Chemistry, Tokushima University

岡村 英一

OKAMURA Hidekazu 185

放射光X線微小血管イメージング法でマウス冠動脈機能を観る

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

国立研究開発法人国立循環器病研究センター 心臓生理機能部

Department of Cardiac Physiology, National Cerebral and Cardiovascular Center

WADDINGTON Mark

日本医科大学 医学部 生理学

Department of Bioregulatory Science, Nippon Medical School

(公財) 高輝度光科学研究センター 放射光利用研究基盤センター 散乱・イメージング推進室

Research and Utilization Division, Center for Synchrotron Radiation Research, JASRI

土持 裕胤

TSUCHIMOCHI Hirotugu

PEARSON James

曾野部 崇

SONOBE Takashi

星野 真人

HOSHINO Masato

上杉 健太朗

UESUGI Kentaro 190

クライオ電顕で捕捉したシャペロン複合体形成の構造基盤

Structural basis of chaperonin complex formation captured by cryo-electron microscopy

東京大学 大学院農学生命科学研究科

Department of Biotechnology, The University of Tokyo

廖 增威

Zengwei LIAO

伏信 進矢

FUSHINO Nobu Shinya 195

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

10th International Conference on Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy (HAXPES 2024) 会議報告

Report on 10th International Conference on Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy (HAXPES 2024)

(公財) 高輝度光科学研究センター 放射光利用研究基盤センター 分光推進室

Spectroscopy Division, Center for Synchrotron Radiation Research JASRI

高木 康多

TAKAGI Yasumasa 200

第24回 SPring-8 夏の学校を終えて

The 24th SPring-8 Summer School

SPring-8 夏の学校実行委員会 委員長

Chair of SPring-8 Summer School Executive Committee

木下 豊彦

KINOSHITA Toyohiko 205

第74回アメリカ結晶学会年会 American Crystallographic Association's 74th Annual Meeting	長谷川 和也 HASEGAWA Kazuya	209
(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		
3. SPring-8/SACLA 通信/SPring-8/SACLA COMMUNICATIONS 2025A期SACLA利用研究課題の募集について Call for 2025A 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	212
2025A期SACLA試験利用の募集について Call for Proposals for 2025A 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	213
2024B期SACLA利用研究課題の採択について The SACLA Public Proposals Approved for Beamtime in 2024B 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	214
2021B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 2021B -2-	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	216
2022A期採択大学院生提案型課題(長期型)の事後評価について Post-Project Review of Long-Term Graduate Student Proposal Starting in 2022A	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	218
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	220
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	222
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	226
SPring-8/SACLA研究成果公表 論文サイテーション数調査-2024- Statistical Analysis on Publications and Citations at SPring-8/SACLA 2024	(公財)高輝度光科学研究センター 利用推進部 User Administration Division, JASRI	254
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	259
専用ビームラインにおける評価・審査の結果について Review Results of Contract Beamlines	登録施設利用促進機関 (公財)高輝度光科学研究センター 利用推進部 Registered Institution for Facilities Use Promotion, User Administration Division, JASRI	262
利用系活動報告 Activity Report of the Precision Spectroscopy Division 2024	依田 芳卓 YODA Yoshitaka 永澤 延元 NAGASAWA Nobumoto 石川 大介 ISHIKAWA Daisuke Alfred Q.R.BARON	269
(公財)高輝度光科学研究センター 放射光利用研究基盤センター 精密分光推進室 Precision Spectroscopy Division, Center for Synchrotron Radiation Research, JASRI		
福井 宏之 FUKUI Hiroshi		
萬條 太駿 MANJO Taishun		

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	藤原 明比古
	Chair of SPRUC	FUJIWARA Akihiko
		277
5. 告知板／ANNOUNCEMENTS		
第 21 回 SPring-8 産業利用報告会		
The 21st Joint Conference on Industrial Applications of SPring-8		279
SPring-8 シンポジウム 2024 ~SDGs 実現に向けた放射光・FEL~		
SPring-8 Symposium 2024		280

我が上なる星空と、我が内なる道徳法則

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

標題の言葉は、カント^[1]の墓に刻んである言葉で、カントの著作「実践理性批判」の結びの言葉「我が上なる星空と、我が内なる道徳法則、私はこの二つに畏敬の念を抱いてやまない。」からの引用である。カントは若い時、天体の研究をしており、ニュートン力学に精通していた。夜空の星々の美しさと、星々の運行の背後にある普遍的な自然法則に対して畏敬の念を感じていた、といわれる。都市では夜空の星を見るのは難しいが、SPring-8 の中央管理棟の屋上からは夜空の星々を楽しむことができ、カントが抱いた畏敬の念を現代においても体験することができる。その光景は不思議そのもので、宇宙・自然の原理や、宇宙の大きさ・始まりへの興味は尽きない。自然科学に関わる多くの研究者は、私自身を含めて、「我が上なる星空」に類する自然への畏敬の念が、その出発点になっている。

ところで、カントは宇宙・自然の原理では説明できないものが、人間行為の中にあることに気が付いた。そして、彼は人文科学へと研究を進めていった。カントは、そこにも原理や法則があると考えた。そして、彼はそれを「道徳法則」、あるいは、「自律（自由）の原理」と言った。人文・社会科学に関わる多くの研究者にとって、「道徳法則」、あるいは、「自律（自由）の原理」に類する法則・原理に対する畏敬の念が、その出発点になっているのではないかと推測する。

かつて文科省の発表が、文系不要論と受け止められ社会的大きな騒ぎになった。私もそれを目にして大変残念に思ったことを思い出す。私は、理系と文系は同じく重要であると考えている。お互いをパートナーとして、各々が「我が上なる星空の法則」（外的真理）と「我が内なる道徳法則」（内的真理）を探究し、その実践を通して SDGs の目標実現に取り組んで行く必要がある。

現在、人類に対する最も大きな脅威は、「気候変動」と「戦争・紛争」による生存と平和に対する脅威だと考えている。これらの脅威に対しては、自然科学と人文・社会科学の連携による総合力を通して、人類の不变の法則（Immutable Laws of Mankind）^[2]・普遍的に共有される価値観（Universally Shared Values）^[3]

を模索して、問題解決に向けて対応して行く必要がある。

では、SPring-8/SACLA/NanoTerasu の運営・利用推進業務に関わる JASRI は、上記の脅威に対して何ができるのか？

できることは限られているかもしれない。たとえそうであったとしても、上記の脅威を他人事だと思ってはならない。地道ではあるが、下記の事柄、即ち、SPring-8・SACLA グリーンファシリティ宣言^[4]、JASRI 設置の目的^[5]、JASRI VISION 2030 における「安全で安心な研究環境と職場環境を創る」^[6]、「インテグリティ」^[7]、の趣旨を心に刻んで、日々の業務に取り組む必要がある。私は、生み出すべき価値を共有してステークホルダーと連携することを今ほど重要と感じることはない。このことを、皆さんと是非共有したい。

参考文献

- [1] Immanuel Kant (1724 – 1804、プロイセン王国) の哲学者
<https://ja.wikipedia.org/wiki/イマヌエル・カント>
- [2] <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4183-6>
- [3] <https://www.upf.org>
- [4] <https://new.spring8.or.jp/index.php/component/content/article/343>
- [5] JASRI 定款 第3条（中略）「もって人類の持続的発展及び福祉の増進に寄与することを目的とする。」
<https://www.jasri.jp/content/files/koukai-jyouhou/gyoumu/teikan2018.6.20.pdf>
- [6] SPring-8/SACLA 利用者情報 2024年冬号
理事長室から「今後に向けて JASRI の成すべきこと・JASRI VISION 2030 -」
<https://user.spring8.or.jp/sp8info/?p=42738>
- [7] SPring-8/SACLA 利用者情報 2023年秋号
理事長室から「インテグリティ」
<https://user.spring8.or.jp/sp8info/?p=42527>

長期利用課題報告

はやぶさ 2 リターンサンプルの X 線 CT を用いた 初期分析と詳細分析

東北大学 理学研究科

松本 恵

立命館大学 総合科学技術研究機構

土山 明

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

上畠 真之、上杉 健太朗、竹内 晃久、安武 正展

Abstract

本長期課題では先行長期課題を引き継いで小惑星探査機はやぶさ 2 が持ち帰った小惑星リュウグウサンプルの放射光 X 線 CT 分析を実施した。空間分解能の異なる CT システムを組み合わせてサンプル分析を実施することでリュウグウサンプルの岩石鉱物学的特徴をマルチスケールで明らかにすると共に、リュウグウ母天体内で起こった水質変成プロセス（水-岩石化学反応による二次鉱物の生成プロセス）や宇宙塵衝突による小惑星リュウグウ表面物質の変化のプロセスを詳細に明らかにした。また本課題の X 線 CT 分析はリュウグウサンプルの初期分析および後発の国際公募分析課題において一連のサンプル分析の序盤に実施され、後続の顕微分析を補助する役割を担い成果の創出に貢献した。

1. はじめに

日本の小惑星探査機はやぶさ 2 は小惑星リュウグウからのサンプルリターンに成功し、2020 年 12 月に約 5.4 g のリュウグウサンプルを地球へと送り届けた。リュウグウサンプルは黒色のマイクロ～ミリメートルサイズの岩石粒子で（図 1）、その一部は JAXA の

サンプルキュレーション（粒子の外見、重量、表面の光学特性などの特徴を調べる作業）^[1,2]を経て 2021 年 6 月に国内の研究機関へ送られ、詳細な特徴を調べるサンプル初期分析が行われた。

リュウグウは地球近傍軌道を公転する直径 900 m 程の小惑星で、赤外域の表面反射スペクトル（構成物の種類を反映する）から水や有機物を含むとされる C 型小惑星に分類されており、太陽系の天体、水、生命の起源と進化の解明に繋がる情報を含む天体と考えられている。サンプル初期分析では、リュウグウサンプルが実際に含水鉱物や有機物を含むことや、それらの物質がかつて天体内部で起こった水質変成（水-岩石間の化学反応）により形成したことが明らかになった^[3,4]。筆者らは、この初期分析の一環として先行長期課題で SPring-8 の放射光を用いたリュウグウサンプルの X 線 CT撮影を実施した。これにより、硫化鉄粒子内に閉じ込められた液体の水を発見するなどの成果を報告している^[4]。この水はかつて天体内部で水質変成が起こっていた時の水で、後の元素分析により塩

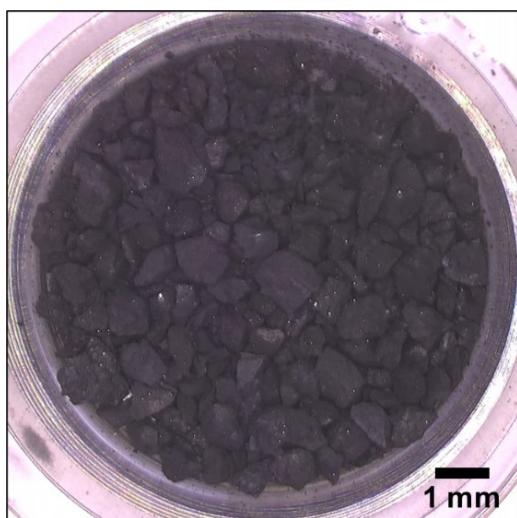


図 1 小惑星リュウグウサンプルの光学顕微鏡像。

や有機物を含む炭酸水であることが明らかとなった^[4]。炭酸水の存在は、リュウグウが太陽系誕生から間もなく太陽から遠く離れた CO₂ 雪線（初期太陽系において CO₂ が気体／固体として存在する領域の境界線で木星付近に位置していたと考えられている）以遠の低温領域で形成したことを示す^[4]。液体の水が存在したことから、形成当時のリュウグウは現在よりも大きく、キロメートル以上のサイズをもつ天体であったと推定されている^[4]。この天体は形成後、木星などの巨大惑星の軌道変化の影響を受けて太陽系の内側方向に移動し、他の天体と高速衝突して破碎され、その破片が集積することで現在の小惑星リュウグウが形成されたと考えられている^[4]。リュウグウが前身天体（母天体という）の破片の寄せ集めからなる小惑星（ラブルパイル天体と呼ばれる）であることは、筆者らの X 線 CT 撮影により得られたサンプルの密度 ($1.79 \pm 0.08 \text{ g/cm}^3$)^[4] が小惑星リュウグウの密度（平均 $1.19 \pm 0.02 \text{ g/cm}^3$)^[9] に比べ有意に大きく、天体内部に隙間が多く存在すると推定されることからも支持される。

このように小惑星リュウグウは、太陽系誕生から現在に至るまでの様々な天体イベントを記録した天体である。本長期課題では、小惑星リュウグウのより詳細な特徴と形成履歴を明らかにするため、多数のリュウグウサンプルについて X 線 CT 撮影と電子顕微鏡観察を組み合わせた複合分析を実施した。

2. リュウグウの放射光 X 線 CT 分析

本課題では数百マイクロメートル～ミリメートルの比較的大きなサンプルを BL20XU の統合 X 線 CT システム^[10]で撮影し、それよりも小さいサンプルは BL47XU の分析型ナノ CT システム^[11, 12]を用いて撮影した。また統合 X 線 CT 撮影により大きなサンプル中に見出した関心領域を集束イオンビーム法^[13]により小さなブロック状サンプルに加工して取り出し、BL47XU の分析型ナノ CT システムで詳細な特徴を調べるビームライン横断型の分析も実施した。分析型ナノ CT 分析を実施したサンプルの一部は、集束イオンビーム法により薄膜試料に加工し透過型電子顕微鏡観察を実施した。

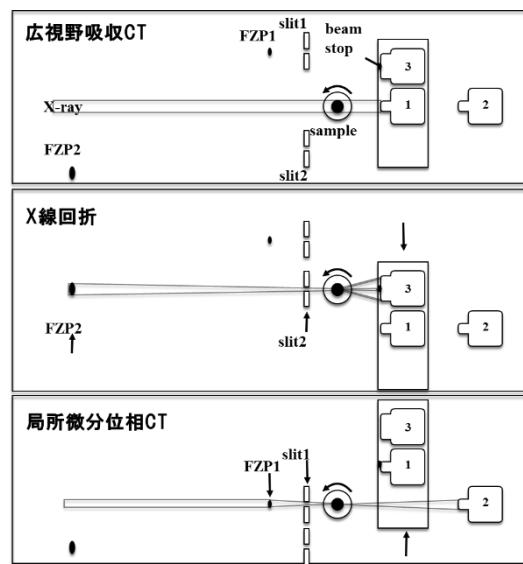


図 2 BL20XU の統合 X 線 CT システムのセットアップ概念図。同一サンプルを広視野 CT、X 線回折、局所高分解能 CT で分析可能。

2-1. 統合 X 線 CT システム

BL20XU の統合 X 線 CT システムでは、30 keV の X 線を用いることにより、数ミリメートルまでの比較的大きな試料を高空間分解能で撮影することが可能である。共通のサンプルステージを用いて X 線光学系と検出器を切り替えることにより、同一サンプルについて広視野 CT 撮影（X 線吸収像を用いたサブミクロンの画素サイズでの高精細 CT）、X 線回折、局所 CT 撮影（X 線吸収像/微分位相像を用いた 100 nm 以下の画素サイズでの超高精細 CT）が行える（図 2）^[10]。

2-2. 分析型ナノ CT システム

リュウグウサンプルはサブミクロンのサイズをもつ構成物からなり、組織観察にはナノスケールの分解能を持つ CT システムが必要である。BL47XU には 7-15 keV の X 線を用いて超高分解能（画素サイズ 10-100 nm 程度）で CT 撮影が行える結像 CT および走査結像 CT システムが整備されている。本課題では、前者を用いて Fe の K 吸収端 (7.11 keV) を挟んだ 2 つの異なるエネルギー (7, 7.35 keV) で吸収 CT 像撮影を行う DET (Dual Energy Tomography)^[11] と後者を用いて 8 keV の X 線で位相 CT 像を撮影する SIXM (Scanning Imaging X-ray Microscopy)^[12] を実施した。DET では異なる化学組成をもつ多種の鉱物同定が可能である。一方 SIXM の位相 CT 像は物質

の密度差に対応するコントラストをもち、DET では困難な水や有機物など軽元素からなる物質の識別が可能である。DET と SIXM で取得した 3 つの CT 像を重ね合わせてカラー CT 像を作成することで鉱物や有機物の 3 次元分布をイメージングし、色の違いで鉱物を判別することができる (DET-SIXM 法: 図 3)。また DET、SIXM 法による CT撮影で得た各構成物質の CT 値を既知の組成をもつ標準サンプルの CT 値で較正することで物質の X 線線吸収係数 (LAC: linear attenuation coefficient) と屈折率減分値 (RID: refraction index decrement) を得ることができる。これらの値は物質の化学組成 (Fe/Mg 比など) や密度を反映しており、これに基づいてサンプルの物質科学的な特徴を調べることも可能である (分析型ナノ CT: 図 3)。

以上の実験により、リュウグウの岩石鉱物学的特徴

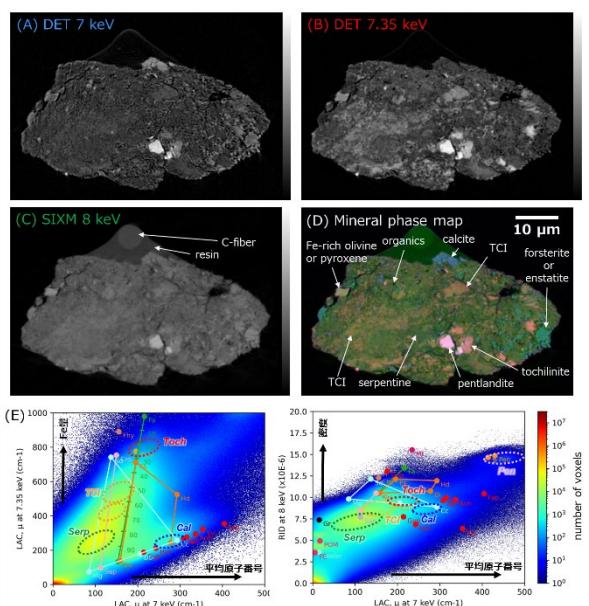


図 3 分析型ナノ CT (DET-SIXM 法) で得られるデータの例。(A) DET の 7 keV X 線の吸収 CT 像 (凡そ原子番号 Z に対応するコントラスト)、(B) 7.35 keV X 線の吸収 CT 像 (Fe の濃度を反映したコントラスト)、(C) SIXM の 8 keV X 線の位相 CT 像 (密度を反映したコントラスト) を重ね合わせることで (D) 3 次元鉱物カラーマップが得られる。各鉱物相の CT 値を既知の組成をもつ標準物質の CT 値で較正して LAC 値、RID 値を求め、それらの値をヒストグラムにプロットすることで鉱物相の密度や化学組成の情報が得られる。(E) Serp:serpentine、Toch:tochilinite、Cal:calcite、Pen:pentlandite、TCI:tochilinite cronstedtite intergrowth。

を明らかにすると共に、リュウグウの構成鉱物が生成した水質変成過程の詳細、小惑星リュウグウ表面で起こった微隕石の衝突現象を明らかにした^[4, 14, 15]。以下ではその概要を紹介する。

3. リュウグウの岩石鉱物学的特徴と水質変成過程

筆者らは先行課題および本課題において、合計 50 個以上のリュウグウ粒子を BL20XU の統合 CT システムで分析した。得られた CT 像と X 線回折パターンを組み合わせて解釈することで、サンプルの大まかな岩石鉱物学的特徴を得た。CT および X 線回折データの一例を図 4 に示す。リュウグウ粒子は主に細粒な含水層状ケイ酸塩 (サボナイト、saponite: $\text{Ca}_{0.25}(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 、サーペンティン、serpentine: $(\text{Mg},\text{Fe})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) のマトリクスからなり、様々なサイズ、形状の鉱物粒子を含む。鉱物粒子は主に酸化鉄 (マグネタイト、magnetite: Fe_3O_4)、硫化鉄 (ピロータイト、pyrrhotite: Fe_{1-x}S 、ペントランダイト、pentlandite: $(\text{Fe},\text{Ni})_9\text{S}_8$)、炭酸塩 (ドロマイト、dolomite: $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ 、ブリュネライト、breunnerite: $(\text{Mg},\text{Fe})(\text{CO}_3)_2$)、リン酸塩 (ヒドロキシ

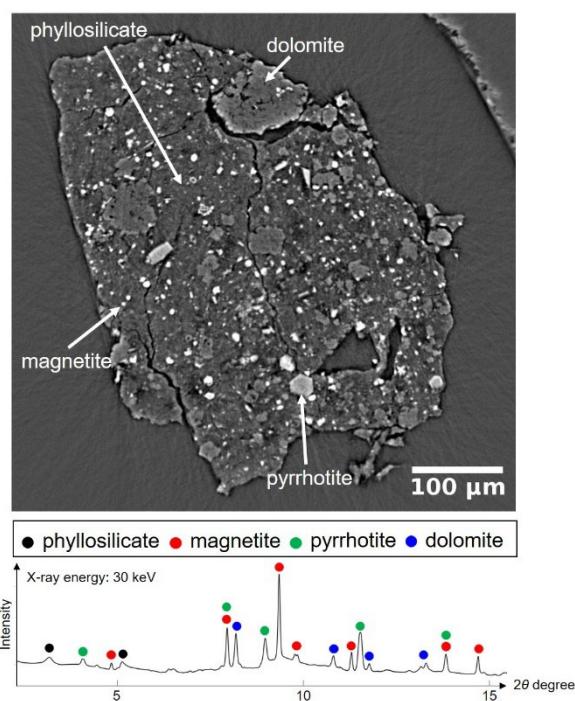


図 4 統合 X 線 CT システムを使って得たリュウグウサンプルの CT 像と X 線回折パターン。(X 線のエネルギーは 30 keV)

アパタイト、hydroxyapatite: $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$) からなる。主として含水層状ケイ酸塩からなるマトリクスの化学組成は数十～数百マイクロメートルのスケールで不均質で、大小多数のクラックが発達している。このような鉱物の組み合わせ、岩石組織は分析したリュウグウサンプル全てに共通して見られることから、リュウグウは比較的均質な天体であると推定された。このことは電子顕微鏡観察などの他の分析手法によつても確認されており、探査機が行ったリュウグウ表面のリモート観測の結果とも整合的である^[16]。

リュウグウの母天体は木星以遠の低温領域で石と炭酸水氷の塵が集積して形成し、その後、天体内部では氷が融けて $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 流体が生じ、これが石の成分と化学反応することで水質変成が起こった^[4]。現在のリュウグウを構成する含水層状ケイ酸塩、酸化鉄、硫化鉄、炭酸塩、リン酸塩はこの時に生成した二次鉱物である。これらの鉱物生成がどのようにして進行したのか調べるため、筆者らは 70 個以上のリュウグウ粒子に BL47XU の分析型ナノ CT を実施した。BL20XU の統合 X 線 CT で選定したリュウグウサンプル内の様々な領域から集束イオンビーム法で小さなブロック状試料を ($\sim 30 \mu\text{m}$) 作製し分析型ナノ CT を行うと、そのうち少数に無水ケイ酸塩鉱物（カンラン石や輝石）が含まれることが明らかになった。これらの試料を薄膜に加工し透過型電子顕微鏡観察を行うと、そのうちいくつかにはナノサイズの硫化鉄粒子のインクルージョンを含む非晶質ケイ酸塩粒子が観察された。これによく似た特徴をもつ非晶質ケイ酸塩は彗星塵の主要な構成物として知られており、太陽系の始原的な物質と考えられている^[17]。リュウグウサンプルに見つかった無水ケイ酸塩鉱物や非晶質ケイ酸塩もまた水質変成を免れ生き残ったリュウグウの始原的な構成物と推定される。準安定な非晶質ケイ酸塩は反応性が高く、氷が融けて生じた流体に溶解し、高過飽和度の水溶液を生成する^[18]。リュウグウ母天体の水質変成初期には、このような水溶液から二次鉱物が析出し天体内の鉱物学的特徴が変化していったと考えられる。

分析型ナノCT撮影では鉱物の3次元形状や鉱物相同士の包有関係を詳細に明らかにできる。本課題ではこれらを解析することで水質変成過程(二次鉱物の析出)

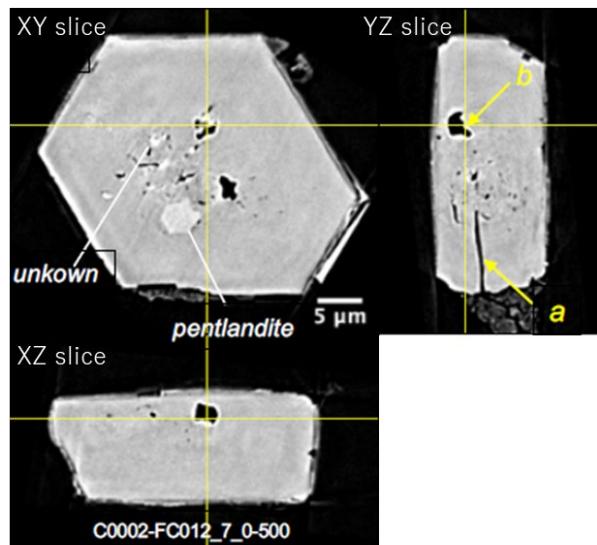


図 5 リュウグウサンプル中の六角板状ピロータイトのナノCT像。a は粒子の外に繋がるクラック。b で示した閉じた空間中に炭酸水の包有物が見出された^[14]。

出過程) の推定を行った^[14]。リュウグウの構成鉱物はそれぞれ特徴的な結晶形状をもっており、例えばピロータイトの大部分は六角板状の外形をもつ(図5)。これに対しマグネタイトは球晶状、プラケット状、木苺状、棒状、多角形状など複数の異なる外形を示す(図6)。また炭酸塩の多くは扁平した菱面体の外形を示し、アパタイトは多角形状の外形をもつ物が多い。これら

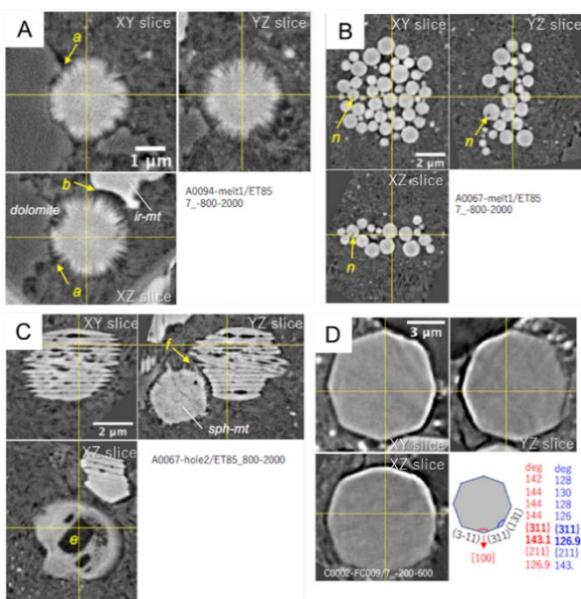


図 6 リュウグウサンプル中のマグнетイトのナノ CT 像。(A) 球晶状、(B) 木苺状、(C) プラケット状、(D) 多角形状など様々な形態をとる^[14]。Ir-mt: irregularly shaped magnetite 。 Sph-mt: spherulitic magnetite。

の鉱物相の包有関係を調べると、最初にマグネタイトが含水層状ケイ酸塩と共に生成し始め、続いて硫化鉄が生成し、次にアパタイト、炭酸塩の順に二次鉱物の生成が進行したことが明らかになった（図7）。結晶の外形は水質変成の進行に伴って変化し、水質変成初期には高過飽和度の水溶液から不規則形状をもつ球晶状やプラケット状、木苺状のマグネタイト結晶が析出し、次第に過飽和度が下がると多角形など規則形状をもつマグネタイトや他の鉱物相が水溶液中から析出したと考えられる（図7）。

パリ・サクレ大学の研究者らと協働し、分析型ナノCTと赤外線（IR）CT（放射光施設 SOLEIL で実施）を組み合わせて実施したサンプル分析では、鉱物と共存する有機物の3次元分布を詳細に調べた。これにより有機物の多くは水質変成の初期に生成したと考えられる細粒な層状ケイ酸塩粒子の隙間に分布していることが明らかになった^[19]。水質変成の進行に伴って細粒の含水層状ケイ酸塩が粗粒の結晶へと成長する際には、これらの有機物の一部が隙間から押し出されて細粒／粗粒含水ケイ酸塩の境界に濃集する有機物の再配置が起こっていたことも明らかになった^[19]。

4. 小惑星リュウグウ表面への微隕石衝突

大気をもたない月や小惑星などの小天体の表面では、長期間太陽風（太陽から吹くプラズマの風）の照射や微隕石（宇宙の塵）の衝突に曝されことで表面物質の特徴が変化する。このような天体表面プロセスは宇宙風化と呼ばれている^[20]。宇宙風化は天体表面の光学特性（見かけの特徴）を変化させることから、探査機や望遠鏡による天体観測データの解釈に影響を及ぼす。そのため宇宙風化が天体表面の物質に及ぼす変化の解明は、今後の宇宙探査を進める上で重要な課題である。宇宙風化作用の物質科学的な研究は、小天体表面の物質を採取することで初めて可能になる。リュウグウサンプルは世界で初めて実際のC型小惑星表面から採取された物質であり、C型小惑星の宇宙風化過程の解明はサンプル分析の重要な科学目標の一つである。初期分析では、少数のリュウグウサンプル表面に宇宙線照射や微隕石衝突、レゴリス粒子（小惑星表面の堆積物）の摩擦加熱によって生じた薄い宇宙風化層（数十～数百ナノメートル）が見つかっており、これらの層は非晶質で小惑星内部の物質に比べて水（水酸基や水分子）に乏しいことが明らかになっている^[21]。

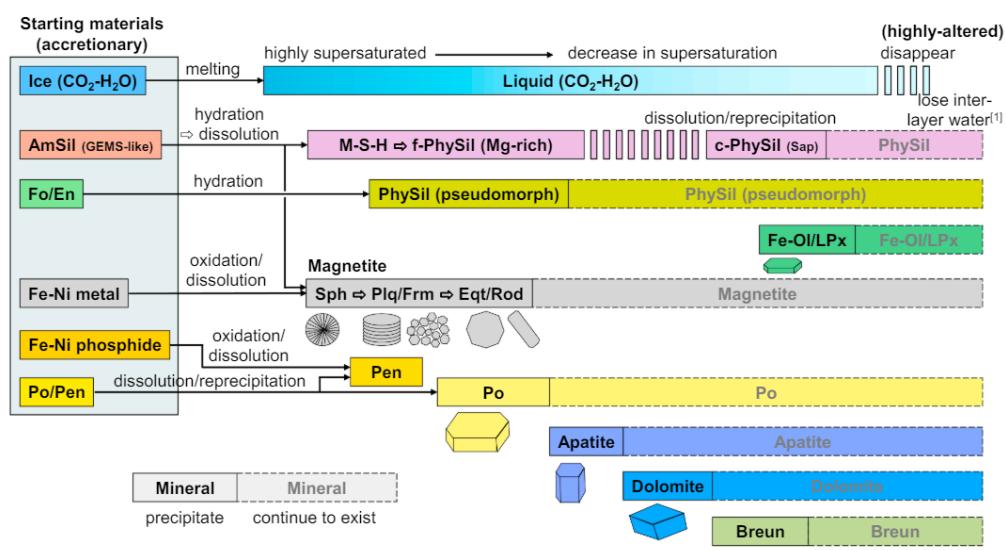


図7 分析型ナノCTにより明らかになったリュウグウ母天体の水質変成モデル^[14]。AmSil: amorphous silicate、Fo: forsterite、En: enstatite、Po: pyrrhotite、Pen: pentlandite、M-S-H: magnesium-silicate-hydrates、f-PhySil: fine-grained phyllosilicates、c-PhySil: coarse-grained phyllosilicates、LPx: low-Ca pyroxene、Breun: breunnerite、Sph: spherulitic magnetite、Plq: plaque magnetite、Frm: frambooidal magnetite、Eqt: equant magnetite、Rod: rod magnetite。

本課題では微隕石衝突によりリュウグウ粒子表面に形成したと考えられるマイクロクレーターと衝撃溶融物をターゲットとして集束イオンビーム法によりブロック状試料 ($\sim 30 \mu\text{m}$) を切り出し、BL47XU の分析型ナノ CT を用いて 3 次元観察を行った。これらの CT 像を図 8 に示す。衝撃溶融物は大きさ数十 μm 程度で飛沫状の外見をもつ。またマイクロクレーターは直径 5 μm 程度で、微隕石衝突によって生成した流理組織をもつ衝撃溶融物がクレーターの壁面を覆うように分布していることが分かった。衝撃溶融物はいずれも主にケイ酸塩ガラスからなり、大小様々なサイズの気泡や球形状の硫化鉄を含んでいる。CT 像を基に選定した衝撃溶融物の特徴的な断面について集束イオンビーム法による薄膜加工を行い透過型電子顕微鏡分析を実施したところ、衝突した微隕石の融け残りと考えられる物質を含んでいることや、リュウグウ表面物質と彗星塵の中間的な化学組成を持つことが明らかになった。融け残りと考えられる物質は彗星塵と類似した特徴をもっており、衝撃溶融物は彗星塵が小惑星リュウグウの表面に衝突することで生成した可能性が高い。彗星塵が小惑星リュウグウに衝突するとリュウグウの表面物質と衝突した塵が高温に加熱され融けて混合する。リュウグウの主な構成物である含水ケイ酸塩鉱物は水を含んでおり、高温に加熱されると水が蒸発して水蒸気が発生する。融けたリュウグウ

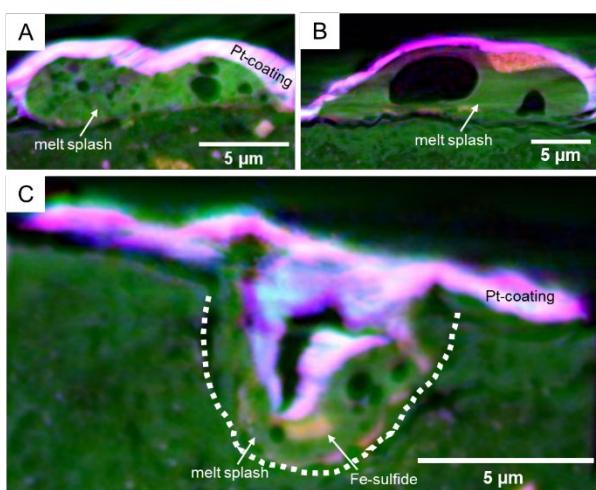


図 8 リュウグウサンプル表面に形成した (A, B) 衝撃溶融物と (C) マイクロクレーターのカラーナノ CT 像。マイクロクレーターの壁に沿って衝撃溶融物 (melt splash) が付着している^[15]。Pt-coating: サンプルの表面を保護するため施した保護膜層。

表面物質と彗星塵の混合物は、急冷されガラス化し、このときガラス中に水蒸気の気泡が閉じ込められる。今回見つかった溶融物は、このようなプロセスで形成したと考えられる。衝撃溶融物はリュウグウ表面物質や彗星塵に比べ酸素に乏しく、硫化鉄の加熱還元によって生成したと考えられる金属鉄を少量含むことから、高温かつ還元的な条件で形成したと考えられる。彗星塵衝突による C 型小惑星表面物質の変化を明らかにしたのは本研究が初である。

彗星は太陽系遠方の低温領域で形成され、生命の材料となり得る有機物を多く含むことが知られているが、衝撃溶融物中にはこのような有機物の融け残りと考えられる炭素質物質が含まれていた。この炭素質物質は多孔質でスポンジ状の構造をしており、見かけは彗星塵に含まれる有機物とよく似ている(図 9)。一方で、窒素や酸素成分をほとんど含んでおらず、彗星塵有機物とは化学的な特徴が異なる。これはリュウグウに彗星の塵が衝突したとき、塵の中に含まれていた有機物が高温に加熱されることで窒素や酸素が揮発し失われたためと考えられる。実際にリュウグウ粒子のごく表面を覆う窒化鉄 (Fe_3N) の薄い層が見つかっているが^[22]、この窒化鉄中の窒素成分は彗星塵がリュウグウ表面に衝突した際に、塵に含まれる有機物が加熱されることによって放出、供給された可能性がある。

これまでのリュウグウ試料分析の結果を踏まえると、本課題で見出したリュウグウ表面への彗星塵の衝突現象は小惑星リュウグウが現在の地球近傍軌道に位置しているとき（現在から約 500 万年前頃までの

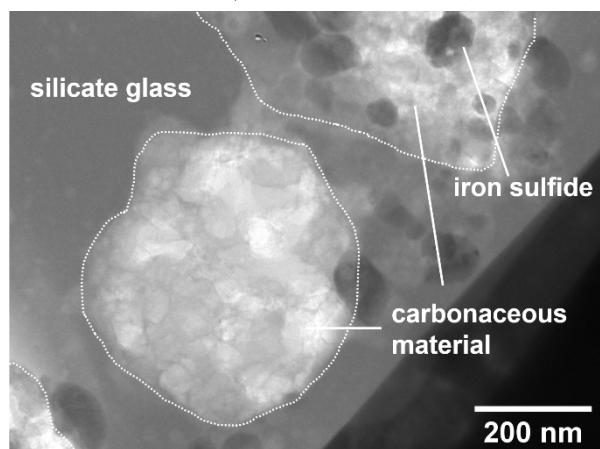


図 9 衝撃溶融物中に含まれる炭素質物質の透過型電子顕微鏡像。スポンジ様の多孔質な組織を示し小さな硫化鉄のインクルージョンを含んでいる^[15]。

期間)に起こった可能性が高い^[23]。これら太陽系遠方から地球近傍に飛来する彗星の塵は、小惑星に衝突し表面の特徴を変化させ、地球に生命の材料となる有機物をもたらした可能性がある。

5. おわりに

先行長期課題および本課題では非破壊かつ高空間分解能で試料の3次元観察を行うことが可能な放射光X線CTの特性を生かして貴重な小惑星リターンサンプルの分析を行った。これにより先行課題では高分解能非破壊分析の特徴を活かして硫化鉄中に炭酸水の包有物を見出し、リュウグウ母天体の集積形成位置が初期太陽系のCO₂の雪線以遠の低温領域である証拠を示すなどの成果を挙げた。また本課題ではナノスケールのCT分析により、2次元の顕微分析では観察が難しい鉱物の3次元形状、包有関係、宇宙風化組織の3次元微細構造を調べ、リュウグウ母天体の水質変成過程、小惑星リュウグウ表面の宇宙風化過程を明らかにするなど、太陽系の誕生から現在に至るまでに起こった天体上の様々なプロセスを明らかにした。また先行課題、本課題の放射光X線CTはサンプル初期分析だけではなく、その後の国際公募分析課題にも取り入れられてサンプル分析フローの上流で実施され、後続の様々な顕微分析を補助する予備的な役割を担つた^[4, 5, 20]。このうち国際公募分析課題は現在も継続中であり、今後の分析によりさらなる成果が期待できる。本長期課題は2023A期で終了したが、2023B期、2024A期において引き続き小惑星リュウグウサンプルの分析および新たにNASAのOSIRIS-REx探査機が持ち帰った小惑星ベンヌサンプルの分析を行い、統合X線CTシステムによるサンプルの3次元形状、密度測定、分析型ナノCTシステムによる流体包有物の探索などを進めており、これによる新たな成果も得られつつある。今後も新たな惑星物質サンプルに本手法を適応し研究を継続することで、太陽系内外で起こった様々な天体プロセスの解明が期待される。

6. 謝辞

本課題の実験は、はやぶさ2初期分析“石の物質分析チーム”、“砂の物質分析チーム”、“Phase2キュレーションチーム”的ご協力のもと実施しました。本課

題の実験実施にご協力頂いた共同実験者の皆さまに感謝申し上げます。また本課題は日本学術振興会の科研費20H00205、20H05846の支援を受けて実施しました。本課題は先行長期課題「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」(2019B-2021A0165および2019B-2021A0166)を引き継いで実施しました。先行長期課題の成果については、本誌の過去の記事^[24]をご参照下さい。なお本稿の図は参考文献[14]、[15]に掲載済みの図を一部変更したものを含んでいます。

参考文献

- [1] T. Yada *et al.* : *Nat. Astronom.* **6** (2022) 214-220.
- [2] S. Tachibana *et al.* : *Science* **375** (2022) 1011-1016.
- [3] T. Yokoyama *et al.* : *Science* **379** (2022) eabn7850.
- [4] T. Nakamura *et al.* : *Science* **379** (2022) eabn8671.
- [5] M. Ito *et al.* : *Nat. Astronom.* **6** (2022) 1163-1171.
- [6] E. Nakamura *et al.* : *Proc. Jpn. Acad. Ser. B* **98** (2022) 227-282.
- [7] H. Naraoka *et al.* : *Science* **379** (2023) eabn9033.
- [8] H. Yabuta *et al.* : *Science* **379** (2023) eabn9057.
- [9] S. Watanabe *et al.* : *Science* **364** (2019) 268-272.
- [10] M. Uesugi *et al.* : *Geochim. Cosmochim. Acta* **116** (2013) 17-32.
- [11] A. Tsuchiyama *et al.* : *Geochim. Cosmochim. Acta* **116** (2013) 5-16.
- [12] A. Takeuchi *et al.* : *J. Synchrotron Radiat.* **20** (2013) 793-800.
- [13] A. Miyake *et al.* : *Microscopy* **63** (2014) i24-i25.
- [14] A. Tsuchiyama *et al.* : *Geochim. Cosmochim. Acta* **375** (2024) 146-172.
- [15] M. Matsumoto *et al.* : *Sci. Adv.* **10** (2024) eadi7203.
- [16] K. Kitazato *et al.* : *Science* **364** (2019) 272-275.
- [17] L. P. Keller and S. Messenger : *Geochim. Cosmochim. Acta* **75** (2011) 5335-5365.
- [18] Y. Igami *et al.* : *Geochim. Cosmochim. Acta* **293** (2021) 86-102.
- [19] Z. Dionnet *et al.* : *Meteorit. Planet. Sci.* (2023) doi: 10.1111/maps.14068.
- [20] T. Noguchi *et al.* : *Science* **333** (2011) 1121-1125.
- [21] T. Noguchi *et al.* : *Nat. Astronom.* **7** (2023) 170-181.
- [22] T. Matsumoto *et al.* : *Nat. Astronom.* **8** (2024) 207-215.
- [23] R. Okazaki *et al.* : *Science* **379** (2022) eabo0431.

- [24] A. Tsuchiyama *et al.* : SPring-8/SACLA Information **27**,
No.3 (2022) 197-206.

松本 恵 MATSUMOTO Megumi

東北大学 理学研究科
〒980-8578 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

土山 明 TSUCHIYAMA Akira

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

上木 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

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

安武 正展 YASUTAKE Masahiro

(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 : m.yasutake@spring8.or.jp

大学院生提案型課題（長期型）報告

放射光を利用した酢酸ビニルモノマー合成触媒の構造解析 ～格子間炭素の発見に基づく触媒性能の解明～

大阪大学 大学院工学研究科
応用化学専攻 固体物理化学領域
中谷 勇希、古川 森也

Abstract

本研究は、数十年に渡り酢酸ビニルモノマー合成の工業触媒として使用されている、KOAc 添加 Pd–Au/SiO₂ 触媒 (Pd/Au = 4) において、Pd に Au および KOAc を添加すると活性・選択性が飛躍的に向上する要因を解明することを目的とした。XRD および XAFS 測定を軸とし、反応前後における触媒の構造解析を徹底的に行うことで (1) 反応中に炭素原子が Pd–Au 合金ナノ粒子の格子間隙に自発的に取り込まれること、(2) KOAc 添加により取り込まれる炭素原子が増加することを初めて見出した。さらに、速度論的検討および理論計算を行うことで高い活性・選択性の発現に対する Au および格子間炭素の役割を明らかとすることに成功した。

1. はじめに

酢酸ビニルモノマー（通称 VAM）は工業的に重要な化学中間体であり、塗料や接着剤、繊維、表面コーティング剤などの製造に使用されている。世界全体での VAM 製造量は 550 万トンに達し (2021 年)、2030 年には 850 万トンまで増加すると予想されており、その需要は年々増加している。商業的には主に、KOAc/Pd–Au/SiO₂ 触媒 (Pd/Au = 4) を用いたエチレンのアセトキシ化 ($\text{CH}_3\text{COOH} + \text{C}_2\text{H}_4 + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{VAM} + \text{H}_2\text{O}$) により製造されている。Pd に (1) Au を添加することで活性・選択性が向上すること、(2) 酢酸カリウム (KOAc) を添加することで活性・選択性がさらに向上することが知られている。このプロセスは数十年に渡り商業的に使用されており、Au および KOAc の機能についてこれまで様々な議論がなされてきたが、これらを詳細に解明した報告は未だなく、KOAc/Pd–Au/SiO₂ を超える新規触媒を開発するための触媒設計指針が確立されていないという大きな課題があった。

2. 本研究の重要なポイント

Au および KOAc の役割が解明されていない背景には高い相純度で均一に分布した（ナノ粒子のサイズが

一定+ナノ粒子中の Pd/Au 比が精密に制御された）Pd–Au 合金ナノ粒子の調製が困難であるという Pd–Au 系の技術的な課題がある（図 1(a)）。不均一な Pd–Au 合金ナノ粒子の使用は本プロセスの理解を複雑化する。そのため従来の検討では、実触媒とは異なる合金組成・表面構造を有するにも関わらず、Pd/Au(111) や Pd/Au(100) をモデル表面に用いた研究が進められてきた^[1-3]。しかしながら、これらのモデルで得られた活性化エネルギー (80–160 kJ mol⁻¹) はナノ粒子触媒で得られた見かけの活性化エネルギー (17–56 kJ mol⁻¹) を再現しておらず、モデルの選択が不正確であることを示唆している。ゆえに実触媒に基づく実験的・理論的アプローチにより Au および KOAc の役割を解明することが重要となる。これに対し本研究では、合金組成および粒子径分布が均一な一連の SiO₂ 担持 Pd_{1-x}Au_x 合金ナノ粒子 ($x = 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.75$) を調製することに成功し、これらを用いてエチレンのアセトキシ化を行った。反応前後の構造解析から反応中に Pd–Au 合金のサイズ・組成は変化せず、一方で炭素原子が Pd–Au 合金の格子間隙に自発的に取り込まれ、格子間炭素が形成されることを初めて明らかにした。さらにこの知見に基づき速度論および密度汎関数理論 (DFT) 計算による詳細な検討を

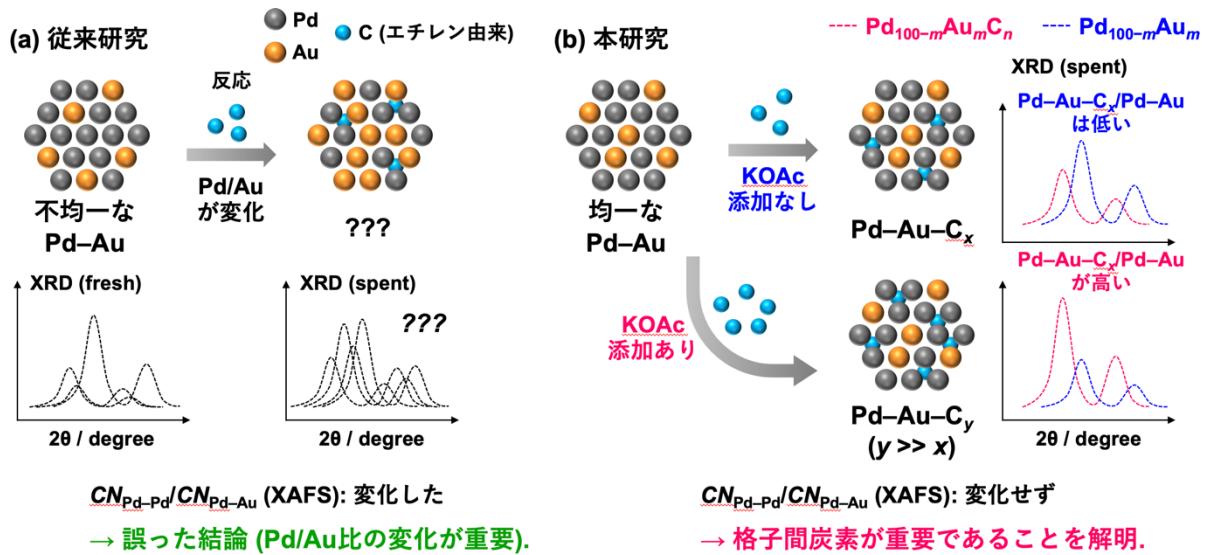


図1 Pd-Au合金を用いたエチレンのアセトキシル化における(a)従来研究と(b)本研究の違いを示す模式図。本研究ではVAM合成中の合金組成の変化を除外することで、反応中にPd-Au合金ナノ粒子の格子間隙に自発的に取り込まれる炭素原子が、触媒性能を向上させる「トロイの木馬」ドーパントとして機能することを見出した。

行った結果、Pdに対するAuとKOAcの役割を解明することに成功した^[4] (図1(b))。

3. 実験およびDFT計算

一連の $\text{Pd}_{1-x}\text{Au}_x/\text{SiO}_2$ 触媒 ($x = 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.75$; Pd : 2.2 wt%) は全て SiO_2 (CARiACT G-6、富士シリシア; $S_{\text{BET}} = 500 \text{ m}^2/\text{g}$) を担体とし、 PdCl_2 と $\text{HAuCl}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ の混合水溶液 (HClを含有)を用いて共含浸法により SiO_2 に含浸担持した。さらに凍結乾燥により乾燥後、ヒドラジン溶液を用いて80°Cで還元した後、洗浄・乾燥・アニーリング(500°C)を行うことで調製した。次に、KOAc水溶液を用いて $\text{Pd}_{1-x}\text{Au}_x/\text{SiO}_2$ 触媒にKOAcを含浸担持し、凍結乾燥することで KOAc/ $\text{Pd}_{1-x}\text{Au}_x/\text{SiO}_2$ 触媒を得た (KOAc : 2.0 wt%)。エチレンのアセトキシル化は常圧固定床流通式反応装置を用いて行った。反応前に水素気流下 160°Cにて20分間還元前処理を行った後、160°Cにて反応ガス ($\text{HOAc}/\text{C}_2\text{H}_4/\text{O}_2/\text{N}_2 = 4.3:6.0:1.0:3.0$, $F = 14.3 \text{ mL min}^{-1}$)を供給することで反応を開始した。X線吸収微細構造(XAFS)測定は SPring-8 BL01B1 (課題番号: 2021A1571、2021B1795、2022A0302、2022B0302) およびBL14B2 (課題番号: 2020A1609、2021B1962)にて行い、Pd KおよびAu L_{III}吸収端を透過法により測定した。

4. 結果と考察

A) 均一性の高い $\text{Pd}_{1-x}\text{Au}_x$ 合金ナノ粒子の合成

粉末X線回折(XRD)および高角散乱環状暗視野走査透過顕微鏡法(HAADF-STEM)測定により、一連の $\text{Pd}_{1-x}\text{Au}_x/\text{SiO}_2$ 触媒において、 SiO_2 上に均一な粒子サイズおよび組成比で $\text{Pd}_{1-x}\text{Au}_x$ 合金ナノ粒子が得られていることが確認された。反応前(還元後)の $\text{Pd}_{1-x}\text{Au}_x/\text{SiO}_2$ 触媒 ($x = 0, 0.2, 0.5$)のPd K吸収端フーリエ変換広域X線吸収微細構造(EXAFS)スペクトルを図2に示す。Auとの合金化に伴い、Pd-Pd散乱に起因する2.45 Åのピーク強度が減少し、Pd-Au散乱に帰属される2.80 Åのピークが新たに確認された。また、EXAFSスペクトルのカーブフィッティング解析を行ったところ、Pd-Pd散乱とPd-Au散乱の配位数(CN)は $\text{Pd}_{0.8}\text{Au}_{0.2}/\text{SiO}_2$ ではそれぞれ

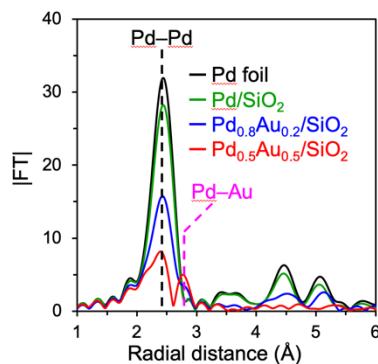


図2 反応前の $\text{Pd}_{1-x}\text{Au}_x/\text{SiO}_2$ 触媒 ($x = 0, 0.2, 0.3, 0.5$) の Pd K吸収端のフーリエ変換 EXAFSスペクトル。

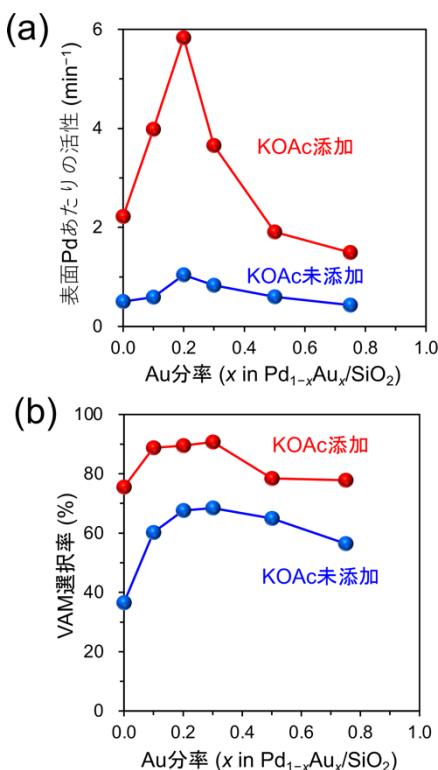
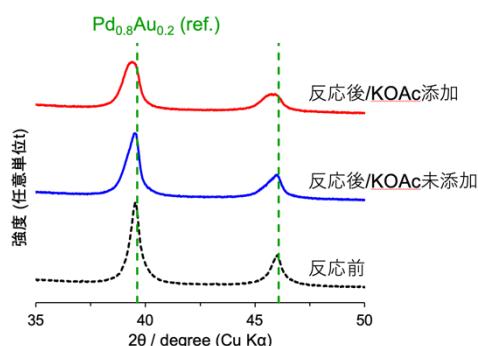


図3 VAM合成の(a)活性および(b)選択率。

7.3 および 2.3 であり、 $\text{Pd}_{0.5}\text{Au}_{0.5}/\text{SiO}_2$ では、5.0 および 4.6 であることが確認された。 $CN_{\text{Pd}-\text{Au}}/CN_{\text{Pd}-\text{Pd}}$ の比は $\text{Pd}_{0.8}\text{Au}_{0.2}/\text{SiO}_2$ と $\text{Pd}_{0.5}\text{Au}_{0.5}/\text{SiO}_2$ でそれぞれ 0.31 と 0.93 であり、理想的な比（合金中の Au 分率/Pd 分率）である 0.25 と 1.0 とよく一致した。これらの結果から、本研究の第一閾値である、均一性の高い $\text{Pd}_{1-x}\text{Au}_x$ 合金ナノ粒子を様々な組成比で合成することに成功した。

B) エチレンのアセトキシル化

KOAc 未添加/添加の $\text{Pd}_{1-x}\text{Au}_x/\text{SiO}_2$ 触媒 ($x = 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.75$) を用いてエチレンのアセトキシル化を行った結果、 $\text{KOAc}/\text{Pd}_{0.8}\text{Au}_{0.2}/\text{SiO}_2$ において最も優れた触媒性能が得られた。ほとんどの触媒で短い誘導期 (~65 min) が確認されたため、定常状態 (95 min) における活性から表面 Pd あたりの活性を $\text{Pd}-\text{Au}$ の Au 分率に対してプロットした（図 3(a)）。同様の火山型プロットは VAM 選択率でも確認された（図 3(a), (b)）。KOAc 添加後はすべての Au 比率において触媒性能が著しく向上したが、全体の傾向に変化は生じず、反応中に合金組成は変化していないことが示唆された。

図4 $\text{Pd}_{0.8}\text{Au}_{0.2}/\text{SiO}_2$ の反応前後における XRD パターンの変化。

C) 反応前後における構造変化

反応後の XRD パターンを確認したところ全ての触媒で合金の回折線の低角度側に新たな回折線が出現した（図 4）。これは合金の組成が変化したこと、あるいは水素や炭素のような軽元素が合金の格子に取り込まれたことを示唆している。低角度側への新たな回折線の出現は Pd 単金属でも確認され、これは $\text{PdC}_{0.13}$ の回折線とよく一致した。したがって、XRD の変化は反応中に取り込まれる炭素原子に由来することが示唆された。そこで、格子間炭素の存在を詳細に明らかとするため、反応前後の Pd K 吸収端の X 線吸収端近傍構造 (XANES) スペクトルを比較したところ、ヒドリドではなくカーバイドの形成に由来する 24375 eV 付近のブロード化が観測された（図 5(a)）^[5]。さらに EXAFS 解析からは合金のサイズ・組成が保持されたまま Pd–Pd 結合距離が増大することが確認された（図 5(b), (c)）。同様の結果は 300°C で C_2H_4 处理した触媒 ($\text{Pd}-\text{Au}-\text{C}$) でも観測され、VAM 合成中に炭素原子が自発的に Pd–Au 合金の格子間隙に取り込まれることを初めて見出した。

D) 速度論的検討

次に、反応前の触媒 ($\text{Pd}-\text{Au}$) と 300°C で C_2H_4 处理した触媒 ($\text{Pd}-\text{Au}-\text{C}$) の格子間炭素形成率 (C%) をそれぞれ 0 および 100% と定義し、 $\text{Pd}_{1-x}\text{Au}_x$ の 111 回折ピークの角度から各種触媒の C% を導出した。 $\text{Pd}_{0.8}\text{Au}_{0.2}/\text{SiO}_2$ における C% は経時変化とともに増加し、誘導期における活性・選択性の向上と良く一致した（図 6(a)）。また KOAc の添加により C% は劇的に

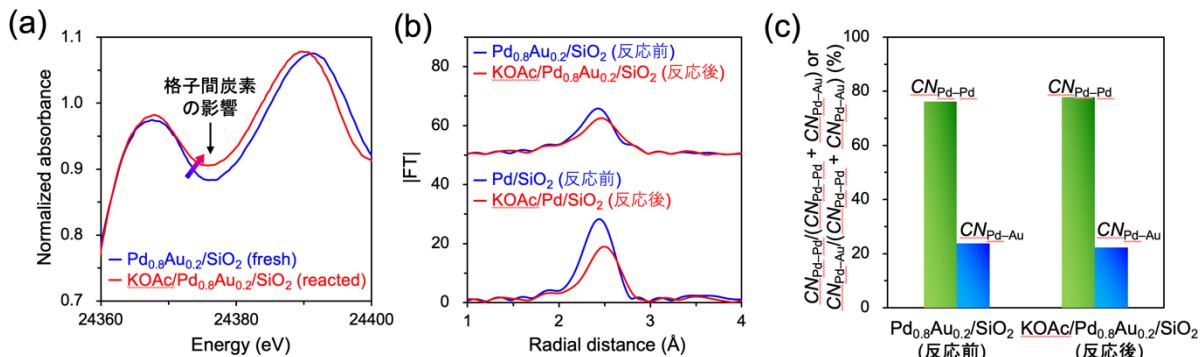


図5 (a) 反応前のPd_{0.8}Au_{0.2}/SiO₂と反応後のKOAc/Pd_{0.8}Au_{0.2}/SiO₂のPd K吸収端XANESスペクトルの比較。
(b) 反応前後におけるPd K吸収端のフーリエ変換EXAFSスペクトルの比較。
(c) CN_{Pd-Pd}とCN_{Pd-Au}の値を用いた反応前後における合金組成の変化。

増加し、C%に対して活性/選択性をプロットした結果、明確な正の相関が確認された(図6(b))。見かけの活性エネルギー(E_{app})はAuの導入により減少し、KOAc添加によりさらに減少した(図6(c))。特にC%と E_{app} には相関関係が確認され、C%の増加に伴い活性が向上することが判明した。更なる速度論的検討からはHOAcとO₂の分圧に対する反応次数はゼロに近い値が得られた。一方で、C₂H₄分圧に対する反応次数はAuとKOAcの導入により負から正へと変化し、Auとの合金化とKOAcの導入(格子間炭素の増加)によりエチレンの吸着が弱まることで活性・選択性が向上することが示唆された。一方、対照実験としてC₂H₄処理により炭素を予め十分にドープしたPd_{0.8}Au_{0.2}C触媒(C%:100%)に対しKOAcを添加せずに反応を行ったところ、C₂H₄処理しなかった触媒(Pd_{0.8}Au_{0.2})と同等の低い活性を示した。また反応後のC%は56.6%にまで低下しており、この値はC₂H₄処理しなかった触媒の反応後の値(C%:49.5%)に近かった。一方でKOAc/Pd_{0.8}Au_{0.2}/SiO₂の反応後のC%は79.0%と高い値を維持していた。以上のことか

ら、KOAcは金属相への炭素の導入を促進とともに、それを保護する役割を果たしていると考えられる。またKOAc担持量の影響を確認したところ、反応後のC%はKOAc担持量の増加に伴い徐々に増加し、それに伴い活性・選択性が向上した。KOAcの影響は2wt%以上で飽和し、過剰のKOAcは触媒性能を変化させなかつたため、KOAcそれ自体は触媒性能に関与しないことが示唆された。最後に、DFT計算により合金の電子状態および各反応過程における自由エネルギーを計算した。その結果、Auの効果(電子的効果+幾何学効果)と格子間炭素の効果(電子的効果)の相乗により表面種OAcの吸着が弱まることで、律速段階であるOAcとC₂H₄のカップリングの障壁が低下し、活性が大幅に向上することが判明した。また、選択性の向上に関しては、副反応(C₂H₄分解からのCO₂生成)の律速段階であるC₂H₄のC-H活性化の障壁(GB)が、Au(幾何学効果)と格子間炭素(電子的効果)の効果の相乗により増加し、CO₂の副生が抑制されるためであると判明した。

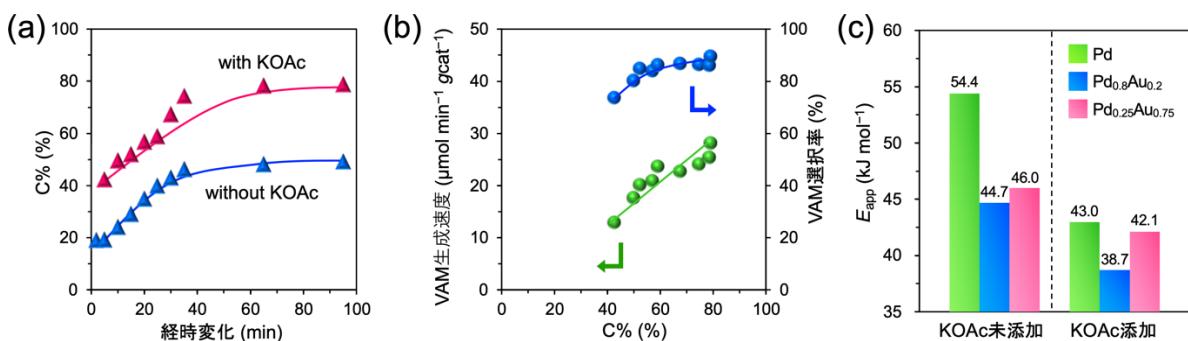


図6 (a) 反応初期におけるPd_{0.8}Au_{0.2}/SiO₂およびKOAc/Pd_{0.8}Au_{0.2}/SiO₂中の格子間炭素形態率(C%)の経時変化。
(b) KOAc/Pd_{0.8}Au_{0.2}/SiO₂におけるC%とVAM生成速度およびVAM選択率の関係。(c) 見かけの活性エネルギーのまとめ。

4. 結言

本研究では、精密に合成した Pd–Au 合金を活用することでエチレンのアセトキシル化に有効な KOAc/Pd–Au/SiO₂触媒が持つ Au と KOAc の役割を解明することに成功した。

- (1) エチレンのアセトキシル化の反応中において Pd–Au 合金の粒子径や組成は変化せず、一方で C₂H₄由來の炭素原子が合金の格子間隙に取り込まれ格子間炭素が形成される。
- (2) KOAc は Pd–Au 合金への炭素ドープを促進するとともに、ドープされた格子間炭素を保持する役割も果たす。
- (3) Au の効果（電子的効果+幾何学効果）と格子間炭素の効果（電子的効果）の相乗により律速段階である OAc と C₂H₄のカップリングの障壁が低下し活性が向上する。
- (4) Au と格子間炭素の効果により C₂H₄の分解が抑制され、選択性も向上する。

参考文献

- [1] Y. Nakaya, and S. Furukawa: *Chem. Rev.* **123** (2023) 5859-5947.
- [2] M. Chem, D. Kumer, C-W. Yi, and D.W. Goodman: *Science* **310** (2005) 291-293.
- [3] Y.F. Han, D. Kumar, and D.W. Goodman.: *J. Catal.* **230** (2005) 353-358.
- [4] Y. Nakaya, E. Hayashida, R. Shi, K. Shimizu, and S. Furukawa: *J. Am. Chem. Soc.* **145** (2023) 2985-2998.
- [5] W. Jones *et al.*: *ChemCatChem* **11** (2019) 4334-4339.

中谷 勇希 NAKAYA Yuki

大阪大学 大学院工学研究科
応用化学専攻 固体物理化学領域
〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 C5-537
TEL : 06-6879-7844
e-mail : nakaya@chem.eng.osaka-u.ac.jp

古川 森也 FURUKAWA Shinya

大阪大学 大学院工学研究科
応用化学専攻 固体物理化学領域
〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 C5-531
TEL : 06-6879-7808
e-mail : furukawa@chem.eng.osaka-u.ac.jp

赤外分光による励起子絶縁体の高圧下電子状態の研究

徳島大学

大学院社会産業理工学研究部 理工学域応用化学系

岡村 英一

Abstract

赤外放射光の利用研究では、放射光の高輝度性に起因する高い空間分解能や指向性を活用した、赤外顕微分光やマッピング、あるいは高圧発生セルや超伝導磁石など制限された試料環境での実験が行われている。ここでは、数万気圧の高圧力下の試料に対する赤外分光研究の最近の例として、励起子絶縁体候補物質である Ta_2NiSe_5 の研究結果を紹介する。

1. はじめに：赤外放射光の利用研究

赤外分光は、分子振動の研究などに用いられることが多い非常に汎用的な分光分析手法であり、ある程度の大きさをもつ試料の単純な透過・吸収測定であれば、市販の赤外分光装置（フーリエ変換赤外分光計、略称 FTIR）を用いることで、短時間で簡便に行うことができる。しかし、市販装置に内蔵されている赤外光源は、高熱の物体が電磁波を放射する黒体輻射を利用した熱光源であり、輝度は低い。一方、赤外放射光の輝度は熱光源よりも 2~3 衍高いため、試料上の微小領域に光強度を集中させたい測定（顕微測定やマッピング測定など）や、空間的に制限された試料空間（高圧発生セルや超伝導磁石）における測定では、赤外放射光を用いた測定が有利になる^[1]。SPring-8 の赤外ビームライン BL43IR でも、赤外放射光の高輝度性を活かした様々な実験が行われてきた^[2]。以下では、高圧下の赤外分光研究の例として、励起子絶縁体候補物質である Ta_2NiSe_5 に対する筆者らの最近の研究^[3]を紹介する。

2. 励起子絶縁体とその候補物質 Ta_2NiSe_5

励起子絶縁体 (Excitonic insulator, EI) とは、電子 (e) と正孔 (h) がクーロン引力により多数の e-h 対 (励起子) を自発的に形成し、集団凝縮することによってフェルミ準位 (E_F) にギャップを生じるエキゾチックな絶縁体状態である^[4]。その存在は、まず 1960 年代に理論的に予測されたが、超伝導体において e-e 対 (クーパー対) が集団凝縮して超伝導ギャップを生じることとの類似性もあり、大きな関心を集めた。図

1 に、理論的に予測された EI の相図の概要を示す。EI の母体となる物質は半金属あるいは微小なギャップをもつ半導体であり、e-h 相関が無いときの 1 粒子エネルギーギャップを E_g と定義している。ここで $E_g > 0$ の場合（相図の右側）は半導体であり、 $E_g < 0$ の場合（相図の左側）はバンド重なりを持つ半金属である。 $E_g = 0$ 近傍の転移温度 T_c 以下で EI が形成され、図 1 の上部に示すように、バンド端の分散が平坦化することが EI の特徴的振る舞いであるとされた。

上記の理論的進展に対して、実験的に EI である可能性が指摘された物質は、長年にわたってごく少数しかなかった。ところが、2009 年に Wakisaka *et al.*^[5] は、層状物質 Ta_2NiSe_5 の角度分解光電子分光 (ARPES) の結果を報告し、低温で価電子帯の頂上が平坦な分散を持つことなどから、この物質が EI である可能性が高いことを示した。なお、 Ta_2NiSe_5 においては、 T_c は

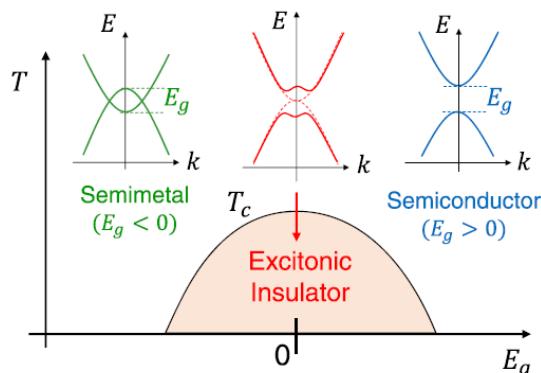


図 1 励起子絶縁体 (EI) の相図とバンド分散の概念図。
T は温度を、 E_g は e-h 引力が無い場合の 1 粒子バンドギャップを表す。

高温での直方晶から低温での単斜晶へと構造相転移が起きる温度に一致する。つまり、より対称性の低い結晶構造への変化が EI 相形成につながっているとされた。その後、Lu *et al.*^[6]は Ta_2NiSe_5 およびその S 置換系 $Ta_2Ni(Se, S)_5$ に対して電気抵抗などの測定を行った。そして彼らは、外部圧力や S 置換によって図 1 の E_g をコントロールすることにより実験的な相図を構築し、図 1 の理論的相図と consistent な結果であることから、 Ta_2NiSe_5 が EI であると結論している。その後、 Ta_2NiSe_5 の研究は世界的に活発になり、上記の 2009 年 ARPES 論文^[5]を引用する論文が 2019 年以降で約 150 報も出版されている。これらの研究の多くは Ta_2NiSe_5 が EI であることを支持しているが、一方で、EI であるとの同定を疑問視する論文も複数報告されている。例えば、e-h 相関を仮定しなくとも平坦なバンドが生じうことや^[7]、結晶構造の対称性より、 T_c 以下の相でのエネルギーギャップは純粹に EI 起源にはなり得ず、必ずバンド混成の効果が混ざること^[8]などが指摘されている。

このように、 Ta_2NiSe_5 のギャップ形成機構については、EI 形成によるとする考えが有力だが未解決となっている。そこで我々は、 Ta_2NiSe_5 に外部圧力を加えた上で、赤外分光によって測定した光学伝導度スペクトル $[\sigma(\omega)]$ 上に観測されるエネルギーギャップの形状を、圧力 (P) と温度 (T) の関数として詳しく調べた^[3]。高圧下の Ta_2NiSe_5 の電気抵抗率や結晶構造については Matsubayashi *et al.*^[9] や Nakano *et al.*^[10] によって詳しく調べられており、図 2 のように高圧下の EI 相の消長と結晶構造の変化が密接に関連している。我々の実験では、図 2 の緑の点で表されたような (P, T) の値で赤外分光実験を行い、エネルギーギャップの変化を調べた。

3. 実験方法

実験に用いた試料は単結晶試料であり、光沢を持つ自然成長面 (ac 面) を機械研磨せずそのまま用いて反射率測定を行った。試料への高圧力の印加はダイヤモンド・アンビル・セル (Diamond anvil cell, DAC) を用いて行った。DAC は高圧下の様々な実験で用いられているが、本研究では光反射率の測定を行うため、図 3 の模式図に示すように、試料面をダイヤモンドの

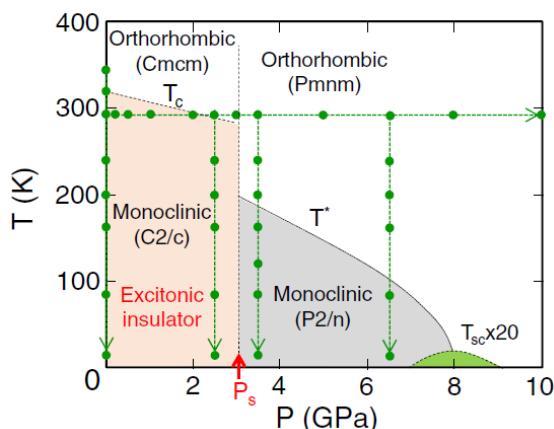


図 2 Ta_2NiSe_5 の温度 (T) - 圧力 (P) 相図^[3]。この相図は Matsubayashi *et al.*^[9] による電気抵抗の実験と、Nakano *et al.*^[10] による精密構造解析実験により求められた。緑色の点は、我々が光学伝導度の測定を行った (P, T) 点を示す。

キュレット面に密着させ、KBr 粉末を圧力媒体として封入した。また、金のフィルムを試料と共に DAC 内に封入し、試料上で測定したスペクトルを金フィルム上で測定したスペクトルで割り算することによって反射率スペクトル $R(\omega)$ を測定した。 Ta_2NiSe_5 の実験では、先端平坦面 (キュレット面) 直径が 0.8 mm のダイヤモンドを用いることで、10 GPa (ほぼ 10 万気圧) までの圧力を印加した。得られた $R(\omega)$ から、ダイヤモンドの屈折率を考慮した Kramers-Kronig 解析^[11]を行うことにより、 $\sigma(\omega)$ スペクトルを導出した。また、試料の圧力は、試料と共に封入したルビー片を用いてルビー蛍光法で測定した。高圧下の反射分光実験は SPring-8 の赤外ビームライン BL43IR にて、遠赤外から中赤外、近赤外領域にかけて (波数 200-9000 cm⁻¹、光子エネルギー 0.025-1.1 eV) 行った。BL43IR における高圧赤外分光実験の詳細については、すでに解説

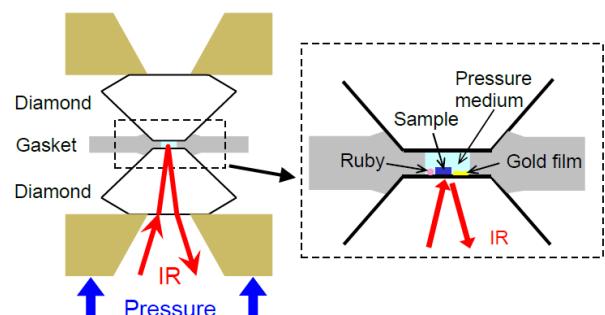


図 3 DAC を用いた高圧下の反射スペクトル測定の概念^[12, 13]。

が出版されているので、そちらを参照されたい^[12, 13]。

4. 実験結果

図4に、高圧下で測定された Ta_2NiSe_5 の赤外反射スペクトルを示す。2.5 GPaにおいては、0.3 eV以下の光子エネルギーでスペクトルが顕著な温度依存性を示しているが、圧力が3.5 GPa、6.5 GPaと増加するに従い、温度依存性が小さくなっていることがわかる。次に図5に、図4の反射スペクトルの解析から求めた光学伝導度スペクトル $\sigma(\omega)$ を、常圧での結果と合わせて示す。図5(a)の常圧データでは、冷却に伴い低エネルギー領域の $\sigma(\omega)$ が減少する振る舞いが常圧と同様に見られるが、 $\sigma(\omega)$ の減少するエネルギー範囲が、常圧に比べてずっと狭くなっていることがわかる。赤い矢印で示す $\sigma(\omega)$ の立ち上がり (Onset) で定義すると、約 0.18 eV である。また、青い矢印で示すように、約 0.38 eV に中心を持つ顕著なピークが観測されている。このピークは EI 状態の形成のためバンドが平坦化した結果、吸収端の状態密度が増加した結果と考えられ^[14]、エネルギーギャップ越しの電

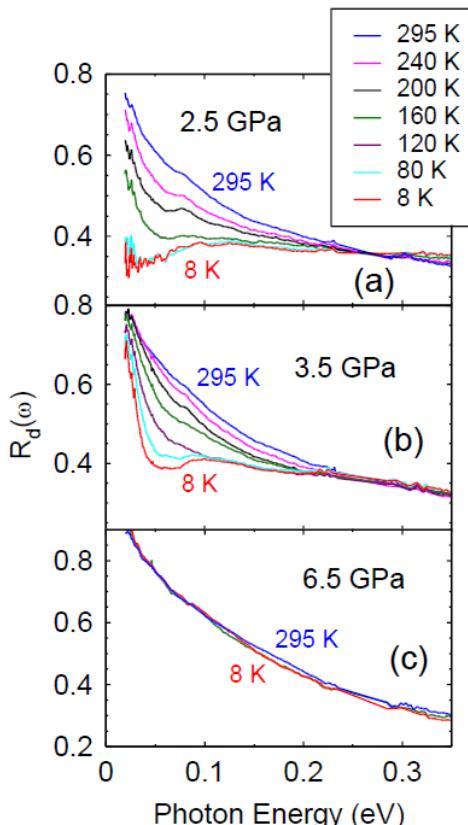


図4 DAC を用いて外部圧力 (a) 2.5 GPa、(b) 3.5 GPa、(c) 6.5 GPa で測定された Ta_2NiSe_5 の赤外反射率スペクトル^[3]。

子励起における励起子効果を強く反映していると考えられる。次に図5 (b) の 2.5 GPa では、冷却に伴い低エネルギー領域の $\sigma(\omega)$ が減少する振る舞いが常圧と同様に見られるが、 $\sigma(\omega)$ の減少するエネルギー範囲が、常圧に比べてずっと狭くなっていることがわかる。赤い矢印で示す $\sigma(\omega)$ の立ち上がり (Onset) は 0.06 eV であり、常圧の 0.18 eV よりも大幅に小さくなっている。また、常圧に比べて励起子効果を反映したピークが大幅に抑制され、もはやピークの存在自身が不明瞭となっている。すなわち、2.5 GPa ではエネルギーギャップはまだ形成されるものの、励起子効果は弱くなっていることを示唆している。この結果は、2.5 GPa という圧力が図2の相図で EI 相が消失する直前の圧力領域であることと対応していると考えられる。次に図5 (c) の圧力 3.5 GPa になると、冷却に伴い低エネルギー領域での $\sigma(\omega)$ の減少はまだ見られるが、最低測定温度の 8 K になっても $\sigma(\omega)$ がゼロ付近まで落ち込

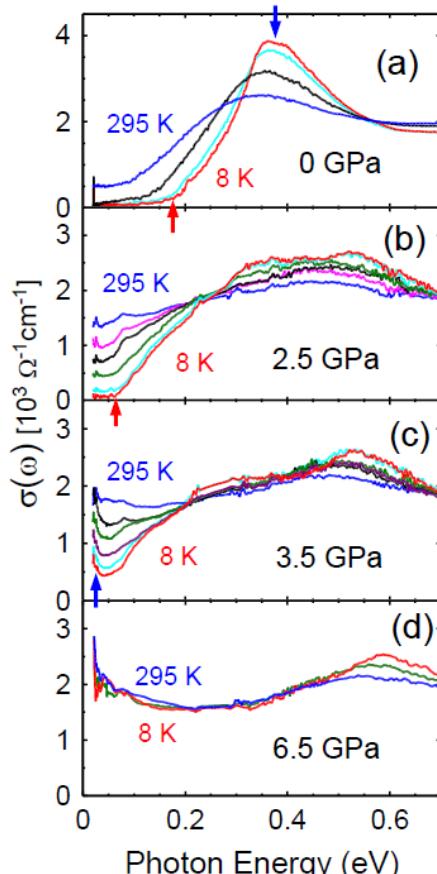


図5 Ta_2NiSe_5 の (a) 常圧 (0 GPa)、(b) 2.5 GPa、(c) 3.5 GPa、(d) 6.5 GPa における光学伝導度 $\sigma(\omega)$ ^[3]。各スペクトルの色と測定温度の対応は、図4のそれと同じである。

まず、有限な値が残っている。また、8 Kでもゼロエネルギーに向けて増加する成分(図中の青い矢印)が見られるが、これは自由キャリヤによる応答(ドーラデ応答)であると考えられる。つまり、3.5 GPaでは E_F に有限な状態密度があり、エネルギーギャップはもはや不完全なものになっている。この結果より、3.5 GPaでは Ta_2NiSe_5 はもはや絶縁体ではなく、半金属的な電子状態になっていることがわかる。図2の相図では、3.5 GPaはEI相の外に出てすぐの所にあり、まだギャップによる状態密度の落ち込みは残っているが、金属的な電子状態になっているという上述の結果は、この相図とよく対応していると考えられる。最後に図5(d)の圧力6.5 GPaでは、室温から8 Kまで $\sigma(\omega)$ の変化はほとんどなく、低温でのエネルギーギャップは完全に消失しており金属的なスペクトルになっている。

さらにエネルギーギャップの振る舞いを詳しく調

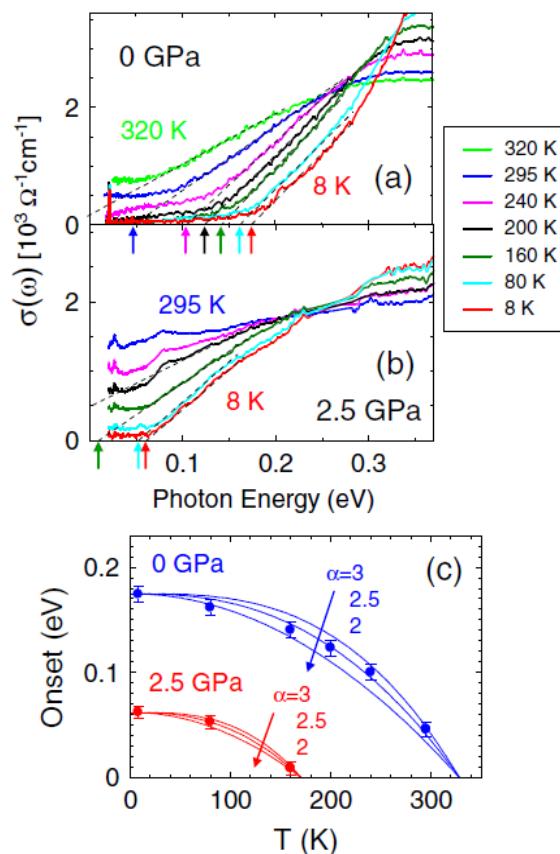


図6 Ta_2NiSe_5 の $\sigma(\omega)$ におけるエネルギーギャップの詳しい解析^[3]。(a) 常圧 (0 GPa) および (b) 2.5 GPa における $\sigma(\omega)$ の立ち上がりの見積もり。矢印は立ち上がりの位置を示す。(c) 立ち上がり (Onset) の温度依存性。 α については本文参照のこと。

べるため、常圧および 2.5 GPa での $\sigma(\omega)$ の温度変化をより詳しく表示したものを、図6(a)、(b) にそれぞれ示す。これらのグラフに示すように、 $\sigma(\omega)$ においてエネルギーギャップが発達する過程で、スペクトルが直線状に変化している部分の外挿(図中の破線)と横軸との交点を、 $\sigma(\omega)$ の立ち上がり(Onset)と見なしている(図中の矢印)。そして、図6(c)では、この立ち上がりのエネルギーを温度 T に対してプロットしている。この立ち上がりをエネルギーギャップの大きさ Δ と見なすと、 Δ と T の間には

$$\Delta(T) = \Delta(0) \left[1 - \left(\frac{T}{T_c} \right)^\alpha \right] \quad (1)$$

という関係が成り立っているように見える^[14]。そこで、図6(c)では実験データに加えて、(1)式で $\alpha = 2.0$ 、 2.5 、 3.0 の場合のグラフをそれぞれ表示している。常圧 (0 GPa) では、実験データは $\alpha = 2.5$ に近いがどちらとも完全に一致せず、単一の α の値では記述できないように見えるが、先行研究^[14]で報告された $\alpha = 2.0$ と近い結果になっている。一方で、圧力 2.5 GPa のデータは $\alpha = 2.5$ に近いが、どの値でもほぼ合っているように見える。また、常圧と 2.5 GPa での振る舞いはよく似ており、常圧と 2.5 GPa で α の値に違いがあるか否かは、今回のデータの精度では判断できず、両者の温度依存は定性的にはほぼ同じと言える。また、図6(c)のデータを(1)式でフィッティングして得られた T_c の値は、常圧で $T_c = 328$ K、2.5 GPa で $T_c = 170$ K である。このうち、常圧での T_c は EI 転移が起きると考えられている構造相転移の温度に等しく、構造相転移と共に EI ギャップが成長する描像と consistent である。一方、2.5 GPa での $T_c = 170$ K は常圧での 328 K の半分程度である。この結果は、2.5 GPa でのギャップ幅 0.062 eV が常圧の 0.18 eV に比べてずっと小さく、電子の熱励起がより低温にならないと取まらないことに起因すると考えられる。

(ボルツマン定数を k_B とすると、熱エネルギー $k_B T$ は 80 K で 0.0069 eV、160 K で 0.014 eV であり、ギャップ幅 0.062 eV の半分で与えられる活性化エネルギーに対する割合はそれぞれ 0.22、0.44 である。この割合が 0.2 以下で熱励起が急激に減少するため、160 K から 80 K への冷却で $\sigma(\omega)$ のギャップが明確になることと consistent である。)

上述したように、2.5 GPa におけるギャップ幅 0.062 eV は、常圧でのギャップ幅 0.18 eV に比べてずっと小さい。一方、構造相転移がおきる温度は常圧での 328 K から 2.5 GPa での約 290 K まで、1 割程度しか下がっていない。すなわち、加圧によるギャップ幅の抑制は、加圧による構造相転移の抑制と比べてずっと強くなっている。つまり、加圧によるギャップ幅の減少は、構造相転移温度のそれとスケールしておらず、この結果は 2.5 GPa でのギャップが純粹に EI 由来ではないことを示唆するように見える。さらに、EI 相のすぐ外側に出た 3.5 GPa ではギャップが埋まって不完全になる結果 [図 5 (c)] と合わせると、2.5 GPa で生き残っているギャップはバンド混成による寄与で、常圧のギャップ幅 (0.18 eV) から 2.5 GPa のギャップ幅 (0.062 eV) へ減少した分が励起子効果と関係しているとの推測もできる。実際はバンド混成によるギャップも圧力に依存するはずであり、現実の状況は非常に複雑である。今後、より詳しく実験データを理解するためには、励起子相関とバンド混成の両方の圧力効果を取り込んだギャップ形成に対する、ミクロな視点からのモデルが必要と考えられる。

5. おわりに

筆者らが最近 SPring-8 の赤外ビームライン BL43IR を利用して行った、EI 候補物質 Ta_2NiSe_5 に関する研究結果を報告した。特に、10 GPa における高圧下かつ低温での赤外分光実験から光学伝導度 $\sigma(\omega)$ を導出し、常圧で明確に観測されているエネルギーギャップが、圧力によって抑制されていく様子を詳しく調べた結果について解説した。高圧力の印加は、結晶における原子間隔をクリーンに（化学置換によって結晶を乱すことなく）、かつ連続的に制御できる有用な実験方法であり、高圧下で様々な興味深い物性が見いだされている。物性の起源となるミクロな電子状態は、例えば ARPES や STM（走査トンネル顕微鏡）などを用いて盛んに研究されているが、これらの手法は高圧セルに封入された試料に対して行うのは技術的に困難である。一方、本研究で用いた高圧下の赤外分光手法によれば、高圧下で E_F 近傍の電子状態を 1 meV 程度の高いエネルギー分解能で調べることができる。従って、今後も様々な物質系に対してこの手

法を用いて、高圧下で現れる特異な電子状態の研究が進展することが期待される。

本研究は BL43IR を用いて、課題番号 2013A1085、2015B1698、2016A1166、2017A1163、2017A1164 の下で行われました。ビームラインサイエンティストの池本夕佳氏、森脇太郎氏、早稲田大学の溝川貴司氏を中心とする共同研究者の方々に深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] S. Kimura and H. Okamura: *J. Phys. Soc. Jpn.* **82** (2013) 021004.
- [2] 岡村英一他: 日本赤外線学会誌 **28** (2018) 48.
- [3] H. Okamura *et al.*: *Phys. Rev. B* **107** (2023) 045141.
- [4] 太田幸則他: 固体物理 **52** (2017) 119.
- [5] Y. Wakisaka *et al.*: *Phys. Rev. Lett.* **103** (2009) 026402.
- [6] Y.F. Lu *et al.*: *Nat. Commun.* **8** (2017) 14408.
- [7] M. D. Watson *et al.*: *Phys. Rev. Res.* **2** (2020) 013236.
- [8] A. Subedi: *Phys. Rev. Mater.* **4** (2020) 083601.
- [9] K. Matsubayashi *et al.*: *J. Phys. Soc. Jpn.* **90** (2021) 074706.
- [10] A. Nakano *et al.*: *IUCrJ* **5** (2018) 158.
- [11] H. Okamura: *J. Phys.: Conf. Ser.* **359** (2012) 012013.
- [12] 岡村英一: 高圧力の科学と技術 **25** (2015) 11.
- [13] H. Okamura *et al.*: *Jpn. J. Appl. Phys.* **56** (2017) 05FA11.
- [14] Y.-S. Seo *et al.*: *Sci. Rep.* **8** (2018) 11961.

岡村 英一 OKAMURA Hidekazu

徳島大学
大学院社会産業理工学研究部 理工学域応用化学系
〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町 2-1
TEL : 088-656-9444
e-mail : ho@tokushima-u.ac.jp

放射光 X 線微小血管イメージング法でマウス冠動脈機能を観る

国立研究開発法人国立循環器病研究センター 心臓生理機能部

土持 裕胤、WADDINGTON Mark、PEARSON James

日本医科大学 医学部 生理学

曾野部 崇

公益財団法人高輝度光科学的研究センター

放射光利用研究基盤センター

散乱・イメージング推進室

星野 真人、上杉 健太郎

Abstract

近年、冠動脈循環の大半を占める微小冠循環障害が注目されている。高齢化に伴う心不全患者の増加の裏には微小冠循環障害が潜んでおり、その対策は急務である。微小冠動脈は単離や顕微鏡下での *in vivo* 観察も困難であり、微小冠循環障害の病態解明は進んでいない。我々は微小冠動脈機能解析を目指し、*in vivo* 放射光 X 線微小血管イメージング法を開発した。放射光 X 線を利用することで非常に高い時間・空間分解能、エネルギー分解能が得られ、ラットやマウスの高速に拍動する心臓においても、心臓表面の太い冠動脈から内径 20-30 μm の微小冠動脈まで同一視野で観察することが可能となった。現在、様々な生活習慣病モデル動物における冠動脈拡張機能を解析し、微小冠動脈障害の病態解明、心不全との因果関係の解明、そして微小血管機能解析法の更なる発展を目指している。

1. はじめに

超高齢社会の現在、高齢心不全患者の大幅な増加が医療を逼迫する「心不全パンデミック」が目前に迫っていると言われており、その対策は急務である。現代社会においては過度のストレスや運動不足といった不適切な生活環境および生活習慣、さらに加齢や個々の遺伝的素因が相互作用した結果、生活習慣病を発症し、生命を脅かす疾病へと繋がっていく。高血圧や糖尿病などの生活習慣病の多くは血管障害を引き起こすことによって動脈硬化に伴う心筋梗塞や脳梗塞をもたらし、我が国における死亡原因の半分以上を占める。

近年、循環器疾患領域において微小冠動脈障害に伴う心不全が注目されている^[1]。ヒトの場合一般に約 500 μm 以下の冠動脈で生じる障害を微小冠動脈障害と称している（動物種によって異なる）。臨床で行う冠動脈造影によって可視化される太い冠動脈は全体の 10%未満と言われており、冠動脈の大半が可視化されない微小冠動脈となる。動脈疾患の主な原因となる動脈硬化とは、太い血管において内膜へのコレステロール沈着や中膜へのカルシウム沈着などが生じ、血管が硬くなつて弾力性を失った状態であり、最終的には動脈が閉塞して狭心症や心筋梗塞、脳梗塞をもたらす。

これに対し臓器深部の細い動脈に生じたものを特に細動脈硬化と呼び、前述した微小冠動脈障害の原因である。

この微小冠動脈の機能を調べる手法は PET や MRI、心筋コントラストエコー法などの間接的手法に限られ、これが微小冠循環障害の病態解明が進まない原因である。動物実験においては蛍光実体顕微鏡を用いることで血管径が約 10 μm 程度の毛細血管レベルまで可視化できるようになったものの^[2]、心臓表面のごくわずかな領域しか観察できないという問題点がある。そこで我々は微小冠動脈を広範囲に解析するため、SPring-8 の BL28B2 においてラット冠動脈を対象とした高輝度放射光 X 線微小血管イメージング法の開発を開始した。その後更なる高精細化を目指し、BL20B2 においてカスタムメイドの可視光変換型 X 線画像検出器に sCMOS カメラを組み合わせたシステムを採用し、大視野での高速かつ高精細な微小冠動脈機能イメージング法開発を行っている。

2. 微小冠動脈機能イメージングの実際

冠動脈機能は大きく収縮機能と拡張機能に分けられる。冠動脈機能障害においては主に過剰収縮や拡張

障害によって心筋の灌流障害が生じるが、局所的に一過性の冠攣縮（異常収縮）が生じることもある。血管拡張には様々なメカニズムが知られているが、先行研究において比較的太い動脈では一酸化窒素（nitric oxide; NO）が、 $\phi 100 \mu\text{m}$ 辺りの血管径を境により細い動脈では血管内皮依存性過分極（endothelium-dependent hyperpolarization: EDH）と呼ばれる機構が血管内皮細胞依存性血管平滑筋弛緩の主体であると言われている。そこで我々は特に NO 依存性および EDH 依存性血管拡張機能に着目して研究を行っている。

微小冠動脈を可視化するためには、冠動脈へ X 線吸収作用を持つ血管造影剤を注入し、そこへ X 線を照射し、X 線が吸収された部位（血管内）とされていない部位（血管外）の X 線強度の差を画像化する必要がある。臨床においては X 線による透視下でカテーテルの先端を冠動脈内まで進め、そこで造影剤を注入することで冠動脈内に高濃度の造影剤を流すことができる。しかしながらラットやマウスのような小動物の心臓はとても小さく、カテーテル先端を冠動脈内へ入れることができない。小動物であっても冠動脈の起始部は大動脈基部のバルサルバ洞に開口していることから、麻酔・人工呼吸下の動物（ラット、マウス）の右総頸動脈からカテーテルを挿入し、その先端をバルサルバ洞へ留置する。バルサルバ洞へ血管造影剤を注入することで血液とともに造影剤を冠動脈へ流入させることができるが、カテーテル先端と冠動脈起始部の位置関係により描出される血管のコントラストが大きく影響を受けるため、1 mm 以下の精度でカテーテル先端の位置決めを行っている。ちなみに習熟度が上がると、挿入した距離や抵抗、そしてカテーテル内の血液の動きなどからカテーテル先端がバルサルバ洞のどのあたりにあるのかがわかるようになってくる。その他、輸液・薬物投与用に頸静脈へもカテーテルを挿入する。

計測は主に中尺ビームライン実験施設にある BL20B2 で行っている。BL20B2 は 2021 年より 40 keV 用の多層膜分光器が導入され、光束密度が数百倍以上に飛躍的に向上したため、より高速度撮影が可能となった^[3]。これにより心臓の拍動に伴う画像のブレを最小限に抑えるとともに、より細い血管までコントラスト良く観察できるようになった。また、偏向電磁石光源の X 線はある程度の広がりを持っているため、光源から 200 m 以上離れた実験ハッチ 3 では、ラットの心臓全体を描出するのに適した安定した大面積ビームが利用できる。より細い微小冠動脈を見たい場

合には、視野は狭くなるが上流の実験ハッチ 1 を用いることも可能である。また、蓄積リング棟内の実験ハッチ 1（光源から約 43 m 地点）にビームディファイザー（材質：木材）を設置することで、多層膜分光器由来のビームの強度ムラ（縞模様）を低減させ、可能な限り強度プロファイルがフラットな X 線を作っている。さらに画像検出器としてシンチレータに高感度で残光時間が短い LuAG 単結晶蛍光面を用いた可視光変換型 X 線画像検出器と sCMOS カメラ ORCA Flash4.0（浜松ホトニクス製）を組み合わせている。これらにより、視野サイズ 9.3 mm(H) × 9.3 mm(V)、露光時間 1 ms、撮影速度 100 Hz、実効画素サイズ 4.53 $\mu\text{m}/\text{pixel}$ の撮影条件を達成している。なお、動物への過度の X 線照射を防ぐために、画像取得時以外はシャッターを閉じている。その他、気道内圧を制御できる人工呼吸器を用いて X 線照射直前に吸気位で数秒間呼吸停止させることにより、呼吸運動に伴う心臓の上下動を抑制している。冠動脈イメージングの際、血液による造影剤の希釈をできる限り抑えるために、必要量の造影剤を短時間に注入する必要がある。造影剤は粘性が高いため、極力太いカテーテルを留置し、さらに高圧対応のシリンジポンプを用いることで十分な吐出量を確保している。これらの小さな工夫を重ねることで、生理的条件下で再現性良くデータを取得できるようになった。

麻酔下・人工呼吸下でのベースラインの血管造影データ取得後、インドメタシン投与によりシクロオキシゲナーゼ代謝産物による血管収縮・弛緩反応を抑制したうえで、EDH の候補とされるカリウムイオンチャネル阻害剤であるアパミンおよびカリブドトキシンを投与後、血管造影を行う。これら一連の実験により、血管拡張反応が NO 依存性か EDH 依存性かを調べ、どのレベル（太さ）の血管でどのような血管拡張障害が生じているのかのデータを得る。

冠動脈はバルサルバ洞に始まり分枝を繰り返して細くなりながら心臓全体を栄養する。そこで、取得した画像に対して必要に応じて画像処理を行い、血管が分岐する毎に 1st, 2nd, 3rd と分類し、分枝ごとの血管内径を求めるとともに、視野内の解析可能な血管数を計測し、血管内径 50 または 100 μm 毎の度数分布を求めている。血管内皮細胞依存性血管拡張反応を惹起するアセチルコリン（Ach）や、NO 放出作用を有し血管内皮非依存性に血管平滑筋を直接弛緩させるニトロプロルシドなどの血管作動薬を静注した際の血管径や血管数の変化を解析することで、どのサイズの

血管機能が影響を受けているのかを調べる。

3. 放射光 X 線微小血管イメージングの進歩

臨床において太い冠動脈に生じるような狭窄や閉塞の有無を調べるような場合には、比較的太い冠動脈が見えればよいことになる。それに対して我々は冠動脈血管床の大半を占める深部の微小冠動脈の収縮および拡張機能の可視化に焦点を当てている。詳細な血管機能解析を行うには摘出血管を用いて *in vitro* で血管作動薬に対する血管応答を調べる方法が用いられるが、冠動脈のように心筋組織内に網目状に張り巡らされている場合は摘出自体が難しい。実体顕微鏡による直接観察は可能だが心臓表面の局所に限られる。それに対し本法は麻酔下の動物を用い、心臓が拍動している状態で、太い血管から微小血管までを同一視野で機能解析を行うことで、摘出血管ではわからない、生理的条件下での血管機能解析を行えることが強みである。

我々は以前より、独自開発した実験室設置型のマイクロフォーカス X 線血管造影装置 (MFX-80HK、HITEK 社製) を用いてネコやウサギ等の中動物の肺や骨格筋の血管造影を行い、臨床での血管造影の検出限界を超える精度での血管機能解析を行ってきた。しかしながら基礎研究で多用されるマウスやラットといった小動物の血管、特に絶えず高速に拍動している小動物の冠動脈造影では、モーションブラー (画像のボケ) が生じ、実験室においては血管径を計測できるほどの鮮明な描出が困難であった。そこで我々はより強力な X 線を求め、2001 年より SPring-8 の BL28B2においてラット冠動脈を対象とした高輝度放射光 X 線微小血管イメージング法の開発を開始した。当時はまだ CMOS イメージセンサーが発展途上であり、我々は 1 インチ X 線直接変換型撮像管サチコンを用い、画素サイズ 10 μm/pixel、撮影速度 30 frames/s での冠動脈イメージングを行った。ここで大きな問題となるのが先に述べた、心臓の拍動に伴うモーションブラーであった。ブレの無い画像を取得するには露光時間を極力短くする必要があるが、このサチコンカメラ自体は露光時間が固定 (33.3 ms) であり、この露光時間では心臓の拍動によるモーションブラーは避けられない。しかしながら SPring-8 放射光の高輝度性を生かし回転円盤型 X 線シャッターを用いて X 線を約 1 ms にパルス化することで、画像のブレを抑えることに成功した^[4,5]。その他、放射光の高指向性による半影の低減や、X 線エネルギーをヨード造影剤に最

適化 (33.2 keV) することによる高コントラスト化も相まって、ラットにおいて内径 100 μm を下回る微小

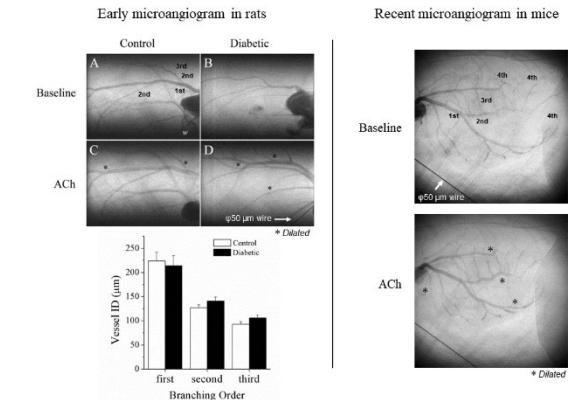


図 1 開発初期のラット微小冠動脈造影と最近のマウス微小冠動脈造影

BL28B2 における技術開発初期、ブレの無い画像が取得でき、病態モデルラットにおいて ACh 等血管作動薬に対する応答を解析可能となった (左上)。しかしながら視野はラットの心臓全体をカバーできず、ラット冠動脈の 3rd 分枝の血管径測定が限界であった (左下)。その後 BL20B2 での改良の積み重ねにより、マウス冠動脈においても 4th 分枝まで血管径を解析可能となり (右)、視野はラットの心臓全体をカバーできるようになった。

*は ACh による血管拡張応答

冠動脈機能を心臓の広範囲に渡って同一視野内で解析可能になったことは画期的であった^[4,6]。

図 1 (左) は BL28B2 で行っていた際のラット冠微小動脈イメージングである。解析できた 1st、2nd、3rd 分枝、内径約 80-220 μm の冠動脈において、糖尿病モデルラットでは Baseline で描出される血管自体が少ないと、ACh による血管内皮依存性血管拡張応答が減弱していることが確かめられた。当時、血管内径が精度よく測定できたのは 3rd 分枝までであり、血管拡張反応が起こることによってようやく血管内径が 50-80 μm 程度の 4th 分枝がかろうじて見える状況であり、血管径の定量評価を行うには空間分解能が足りていなかった。ちなみに、このことは 4th 分枝の血管が普段閉じていることを表しているのではなく、造影剤は流れているものの血管の細さのために血流量が少ないため、十分な X 線の吸収が起こらず、血管として描出されなかつたことが原因である。

基礎医学研究においては遺伝子操作を含めマウスを対象とする研究が多く、必然的にマウスの冠動脈機能解析の必要に迫られた。ヒトの毛細血管の太さは 5-20 μm とされており、赤血球がぎりぎり通過できる

太さである。したがってヒトの心臓ほどの大きな心臓であれば 50 μm 前後の細動脈が可視化できれば微小冠動脈の研究としては十分であるのかもしれない。しかしながらラットやマウスの赤血球はヒトのものよりも小さく、それに伴い毛細血管もヒトのそれよりもさらに細い (ϕ 5 μm 前後) と言われている。したがってこれまでの計測限界である 50 μm 程度の空間分解能ではマウスやラットの冠微小動脈全体を見渡すには不十分であり、毛細血管に至る手前の細動脈 (ϕ 20-30 μm 程度) までの微小冠動脈イメージングが必要であると考えた。

先ほど述べたように X 線による血管造影画像は血管における造影剤による X 線吸収量と血管外組織での X 線吸収量の差で構築されるため、細い血管ほど X 線の吸収が弱くなり、コントラストが付きにくい。BL20B2において分光器がシリコン二結晶分光器から 40 keV 出力の多層膜分光器へ変わったことにより、エネルギーがヨウ素の K 吸収端 (33.2 keV) から外れたことは画像コントラストの面ではデメリットかもしれない。しかしながら多層膜分光器の使用による光束密度増加の恩恵の方が大きく、現在はマウスの冠動脈を対象として、BL20B2 上流の実験ハッチ 1 を用いることでベースラインにおいても 4th 分枝以上 (ϕ 20-30 μm) まで可視化されるようになった(図 1 右)。また、大視野である BL20B2 実験ハッチ 3 を使うことで、これまで不可能であった、心臓全体に渡るラット冠動脈の可視化が可能となった。

4. 微小冠動脈障害の病態解明を目指して

微小冠動脈障害を含む微小循環障害の原因として生活習慣病、特に糖尿病による高血糖状態がもたらす血管へのダメージが指摘されている。糖尿病罹患率の増加とともに、腎臓における糖尿病性糸球体硬化症、網膜に生じる糖尿病性網膜症、糖尿病性神経障害などの罹患率上昇は避けられない。一刻も早い病態解明および予防策の開発が必要である。我々は遺伝的に糖尿病を発症する db/db マウスや、生活習慣によってインスリン抵抗性および糖尿病予備軍状態を呈する高脂肪・高糖負荷モデルマウスを用い、糖尿病性微小冠動脈障害の成因や運動等による発症予防効果の検証をおこなっている。図 2 はマウスに長期間高脂肪餌 (HFD32、日本クレア製) とブドウ糖果糖液糖を与えてインスリン抵抗性を惹起させた糖尿病予備軍モデルの冠動脈機能を調べた例である。

32 週間の高脂肪+高糖水負荷群は、EDH 阻害によ

り微小冠循環の低下(検出可能な微小冠動脈数の減少)が認められた(図 2 左)。正常な冠動脈においては EDH

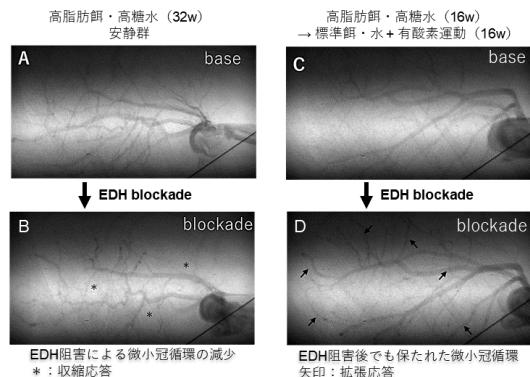


図 2 長期の高脂肪+高糖餌による血管内皮機能障害に対する食餌と運動の併用介入による内皮機能改善効果

32 週間の高脂肪餌+高糖水負荷群は EDH 阻害により微小冠動脈が収縮(減少)したが、17 週目から標準餌・水への切り替えと週 5 回の有酸素運動を行わせた群は EDH 阻害後も微小冠動脈循環が保たれていた。

* : 収縮応答 矢印 : 拡張応答

阻害後も NO 系等による血管拡張応答が冠循環を維持しているが、このモデルにおいては EDH 阻害時に NO 系等による補完が不十分である、つまり血管内皮機能障害が生じていることを示唆する。これに対し、17 週目から標準餌・水へと戻し、さらに週 5 日の有酸素運動を 16 週間行わせた食習慣改善+運動介入群は、EDH 阻害後も微小冠循環が保たれていた(図 2 右)。食習慣改善のみまたは有酸素運動のみの介入ではそのような改善は認められなかったことから、食習慣改善と有酸素運動の併用介入は糖尿病性微小冠動脈障害、および他の臓器・組織内の微小動脈障害においても機能改善効果が期待される。今後、これら併用介入による微小循環障害予防効果についても検証を行う計画である。

5. 放射光 X 線微小血管イメージングの課題と今後

本法の最大の問題点は、放射光施設を用いる点であり、実験の頻度が限られてしまうことである。今後、他のモダリティによる微小冠動脈機能解析法を開発し、本法はその結果の妥当性を担保する手段として用いることができれば、研究の効率を上げる事が可能である。その他、放射光 X 線微小血管機能イメージング技術が進歩するにつれ、データ解析に関する問題点が生じている。すなわち、より細い血管が描出されるほ

ど、解析対象が指数関数的に増えることである。近年の人工知能（AI）技術の目覚ましい進歩により、AIによる画像処理や画像解析技術も飛躍的に向上している。我々も実際にAIによる画像処理を試み画像の鮮鋭化、低ノイズ化については手ごたえを感じてはいるものの、定量解析については未だ手つかずの状態である。血管とそれ以外を区別するためにコントラストを調整しても、細い血管については血管の認識が上手く行かないことが多い、人の眼に頼っているのが現状である。今後は深層学習による微小血管検出技術の開発も進める必要がある。

参考文献

- [1] WJ Paulus and C Tschöpe: *J Am Coll Cardiol.* **62** (2013) 263-271.
- [2] AR Pries and B Reglin: *Eur Heart J.* **38** (2017) 478-488.
- [3] 上杉健太朗、星野真人: *SPring-8/SACLA Information* **26** (2021) 448-449.
- [4] 白井 幹康、八木 直人、梅谷 啓二: *日本薬理学雑誌* **148** (2016) 92-99.
- [5] JT Pearson, MJ Jenkins, AJ Edgley, T Sonobe, M Joshi *et al.*: *Cardiovasc Diabetol.* **12** (2013) 111.
- [6] M Shirai, DO Schwenke, H Tsuchimochi, K Umetani, N Yagi *et al.*: *Circ Res.* **112** (2013) 209-221.

PEARSON James

(国研) 国立循環器病研究センター
心臓生理機能部
〒564-8565 大阪府吹田市岸部新町 6-1
TEL : 06-6170-1069 (内線 40365)
e-mail : jpearson@ncvc.go.jp

星野 真人 HOSHINO Masato

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

上杉 健太朗 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

土持 裕胤 TSUCHIMOCHI Hirotsugu

(国研) 国立循環器病研究センター
心臓生理機能部
〒564-8565 大阪府吹田市岸部新町 6-1
TEL : 06-6170-1069 (内線 40365)
e-mail : tsuchimo@ncvc.go.jp

曾野部 崇 SONOBE Takashi

日本医科大学 医学部 生理学
〒113-8602 東京都文京区千駄木 1-1-5
TEL : 03-3822-2131
e-mail : t-sonobe@nms.ac.jp

WADDINGTON Mark

(国研) 国立循環器病研究センター
心臓生理機能部
〒564-8565 大阪府吹田市岸部新町 6-1
TEL : 06-6170-1069 (内線 40365)
e-mail : mtwaddingham@ncvc.go.jp

クライオ電顕で捕捉したシャペロニン複合体形成の構造基盤

東京大学 大学院農学生命科学研究科

応用生命工学専攻 酵素学研究室

廖 増威、伏信 進矢

Abstract

シャペロニンは細胞内のタンパク質の恒常性に重要な役割を果たすタンパク質複合体である。大腸菌のシャペロニン GroEL の構造と機能はよく研究されているが、蓋状分子 GroES の結合と ATP 加水分解による大きな構造変化などの理由で、シャペロニン複合体の構造解析には制約があり、複合体形成段階およびその動きに関する理解は限られている。本研究では、クライオ電子顕微鏡により、ATP および AMP-PNP 存在下で、2 種類の好熱性水素酸化細菌由来のシャペロニン複合体の立体構造を解析した。高分解能のフットボール型複合体の構造に加えて、今まで報告されていなかった非対称フットボール型複合体も捕捉することに成功した。それらの構造をもとに、弾丸型複合体からフットボール型複合体への移行における重要なステップである trans-GroES の結合のメカニズムを解釈した。

1.はじめに

タンパク質の立体構造に関する基本的な情報はアミノ酸配列に記されているが、細胞内の環境は複雑であり、新生ポリペプチドは機能を持つ正しい構造にまでフォールドできず、ミスフォールドや凝集に陥ることがあり得る。グループ I に属するシャペロニン GroEL (真核生物の場合、HSP60 とも呼ばれる) はホモ 7 量体のリング 2 つで構成され、蓋状タンパク質 GroES と結合することによって、リング内側に形成されるチャンバー (空洞) の中に入り込んだ基質タンパク質のフォールディングを補助する (図 1)。GroEL のプロトマー (ひとつのユニット) は赤道、中間、頂点の 3 つのドメインで構成される^[1]。赤道ドメインのヌクレオチド結合部位における ATP の加水分解により、頂点ドメインが外向きに大きく構造変化し、保存され

た 2 本の α ヘリックス (α -ヘリックス H/I) が GroES の可動ループ (mobile loop) と呼ばれる部位と相互作用することが知られている^[2, 3]。生理活性を持つ GroEL-GroES 複合体は、両者が 1:1 で結合する弾丸型 (GroEL-GroES) と、1:2 で結合するフットボール型 (GroEL-GroES₂) の主に 2 種類が存在する。GroEL はその分子量や対称性などの性質から、昔から電子顕微鏡や結晶構造解析のモデル試料として研究に用いられてきた。しかし、GroEL の ATPase 活性は、同じ側のリングにおける正の協同性 (positive cooperativity) と異なるリングにおける負の協同性 (negative cooperativity) が存在するため、2 分子目の GroES が結合した状態を捕捉するには変異体作成などの工夫が必要だった。そこで、我々は 2 種類の至適温度の異なる好熱性水素酸化細菌 (*Hydrogenophilus thermoluteolus* TH-1 (Hpl); 52°C^[4]、*Hydrogenobacter thermophilus* TK-6 (Hb6); 70°C^[5]) 由来のシャペロニンに着目し、クライオ電子顕微鏡を用いた単粒子解析によりそれらの立体構造を解析した^[6]。

2. Hpl シャペロニンのフットボール型複合体

Hpl 由来のシャペロニンについては、GroEL は培養した水素細菌から直接精製したものを、GroES は大

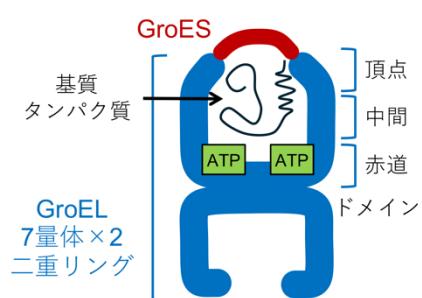
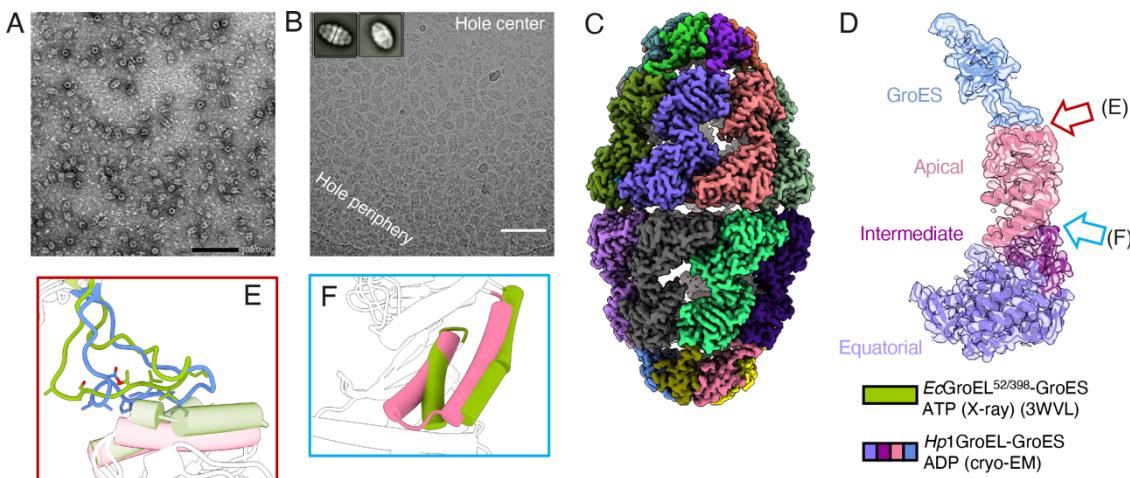


図 1 弾丸型の GroEL-GroES 複合体の模式図。

図2 *Hpl* シャペロニン複合体の電顕解析

(A) *Hpl* GroEL-GroES のネガティブ染色電顕画像。(B) クライオ電顕画像と代表的な 2D 平均像。(C) *Hpl* フットボール型複合体プロトマーのモデルとマップ。(D) *Hpl* フットボール型複合体の構造比較。既報の結晶構造との構造比較。*Hpl* GroEL-GroES をピンクと青で、ヌクレオチド結合部位に変異を導入した大腸菌 GroEL-GroES の構造を緑色で表す。

腸菌の組換えタンパク質をそれぞれ用いた。近年ではネガティブ染色法による電子顕微鏡解析を行うことも減っているが、GroEL のような大きいタンパク質複合体の場合、クライオ測定のためのサンプル純度を確認するには役に立った。ATP 存在下での *Hpl* GroEL-GroES 複合体をネガティブ染色電顕で観察したところ、明確なコントラストで多数の複合体が目視で確認できた(図2(A))。クライオ測定のためにグリッド作成条件検討を行なった結果、気液界面で複合体粒子が失活していることが判明したため、最終的に界面活性剤を用いることにより、グリッドのホールの周辺部で比較的分厚い氷を作らせて、ホールの中心からやや外れた位置で撮影することにした(図2(B))。

意外なことに、大腸菌の GroEL-GroES では大部分の粒子が弾丸型複合体として観察されるのに対して、*Hpl* の場合は 90%以上の粒子がフットボール型複合体であった。*Hpl* GroEL は大腸菌 GroEL に比べて熱安定性の高いタンパク質であり、その ATPase 活性は常温で至適温度(65°C)の半分以下に低下する。そのため、常温で調製した試料において分解能の高いフットボール型複合体の構造解析が可能になったのではないかと考えている。*Hpl* シャペロニンの電顕グリッドは粒子の均一性が優れており、1,200枚の画像を用いて 2.3 Å 分解能でフットボール型複合体のマップを構築できた(図2(C, D))。*Hpl* シャペロニンの全

体構造は大腸菌シャペロニンのフットボール型複合体と類似していたが、GroEL/GroES の界面にあるヘリックス H/I と可動ループの部分は結晶構造と若干違うことが分かった(図2(E, F))。大腸菌シャペロニンでフットボール型複合体の構造を得るにはヌクレオチド結合部位の変異体あるいは加水分解されない ATP 類似体を用いる必要があったが、*Hpl* のシャペロニンを用いることにより、野生型タンパク質を用いて、ATP を添加した条件でフットボール型複合体の構造の捕捉に成功したことになる。

3. *Hb6* シャペロニンの非対称フットボール型複合体

続いて、*Hpl* でのノウハウを用いて別種の水素細菌である *Hb6* 由来のシャペロニン複合体の構造解析に挑んだ。しかし、*Hb6* は *Hpl* よりもさらに菌体生育至適温度が高く、その GroEL は常温において ATPase 活性がほとんど見られないことが判明した。大腸菌の組換えタンパク質として調製した *Hb6* の GroEL-GroES を常温で混合して電顕測定を行ったところ、粒子のうちごく一部は複合体を形成しているように見えたが、ヌクレオチド結合部位の ATP は未分解状態で、非常に不安定な構造であることが判明した(未発表データ)。グリッド作成前の加熱温度と各種のヌクレオチド類似体を検討した結果、AMP-PNP(非加水分解性 ATP アナログ)を添加して 45°C で調製した

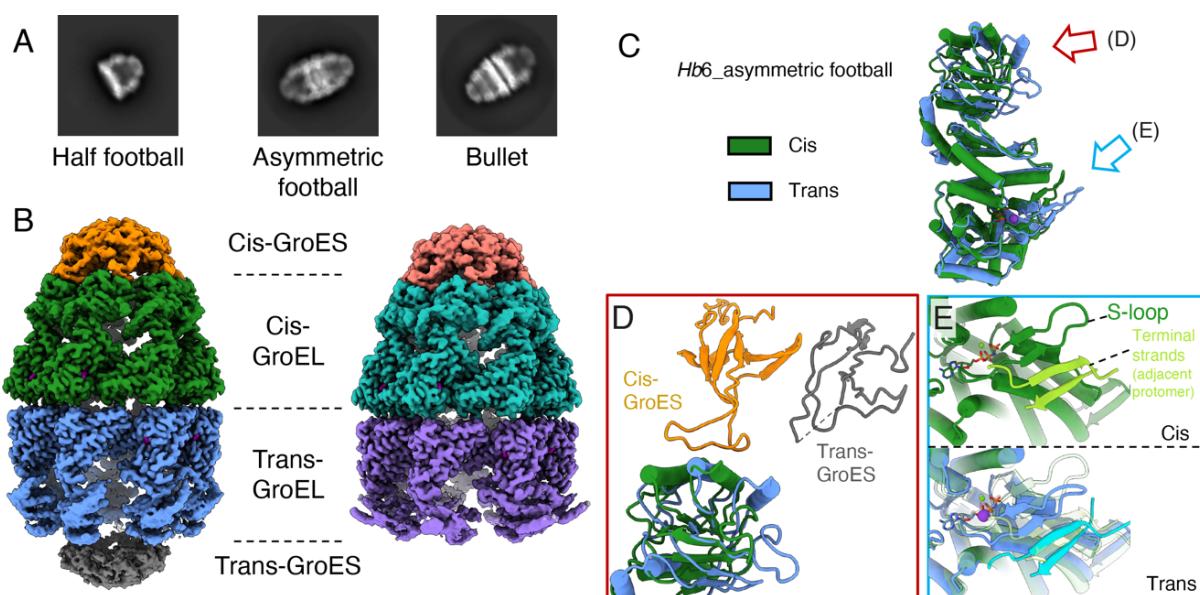


図3 *Hb6* シャペロニン複合体の電顕解析
(A) 複合体のタイプ別 2D 平均像。(B) 非対称フットボール型複合体(左)と弾丸型複合体(右)の電顕マップ。
(C, D, E) 非対称フットボール型複合体の cis-ring と trans-ring のプロトマー間の構造比較。

試料を用いることにした。単粒子解析の結果、興味深いことに、これまで報告されていた弾丸型複合体と半フットボール型複合体に加えて、GroEL の両側に GroES が結合しているが明らかに上下非対称の複合体が存在していた(図3(A))。我々はこれを非対称フットボール型(asymmetric football)複合体と名付けて、弾丸型複合体とともに構造精密化を行った(図3(B))。非対称フットボール型複合体のうち、一般的な弾丸型複合体と似た構造を持つ側のリング(ここでは cis-ring と定義する)においては、弾丸型と同様の相互作用で GroES が安定に結合していた。一方、その逆側のリング(trans-ring)では、GroEL の頂点ドメインから GroES まで非常にフレキシブルな状態であることが分かった。Cis-ring の構造に重ね合わせると、trans-ring では GroEL の頂点ドメインと GroES がともに安定な位置からずれていることが分かる(図3(C)、D))。

また、赤道ドメインのヌクレオチド結合部位においては、両方のリングで AMP-PNP および Mg²⁺イオンと思われる電顕マップが確認できた。Trans-ring ではさらに ATP 加水分解に必要な K⁺イオンのピークも観測された。それに関連して、trans-ring では S-loop と terminal strands と呼ばれる部分が cis-ring とは異なる

コンフォメーションをとっていることが判明した(図3(E))。これらの部分は GroEL のチャンバーに入り込んだ基質と相互作用すると考えられており、trans-ring では cis-ring とチャンバーの大きさも異なっていることが分かった。

4. Trans-GroES の結合による複合体の構造変化

これまでに大腸菌の GroEL と GroES の結合中間状態を捕捉する試みはいくつか行われているが^[2, 3]、cis-GroES に比べて trans-GroES の結合・解離平衡を左右する因子はさらに複雑であるため、その詳細はいまだよく理解されていない。シャペロニン複合体を制御するメカニズムの一つとして、cis-ring と trans-ring の接点である赤道ドメインの上下で交差する GroEL プロトマー間の相互作用が重要であることが分かっている。ここには複数の保存された残基が存在しており、その片方のリングにおいて ATP の加水分解にともないプロトマーが回転する際に、塩橋や疎水性相互作用を通じて反対側のリングとコミュニケーションすると考えられている。我々の結果では、非対称フットボール型複合体のリング間相互作用のパターンは、*Hpl* のように一般的な対称型フットボール型複合体とは異なり、むしろ弾丸型に類似していること

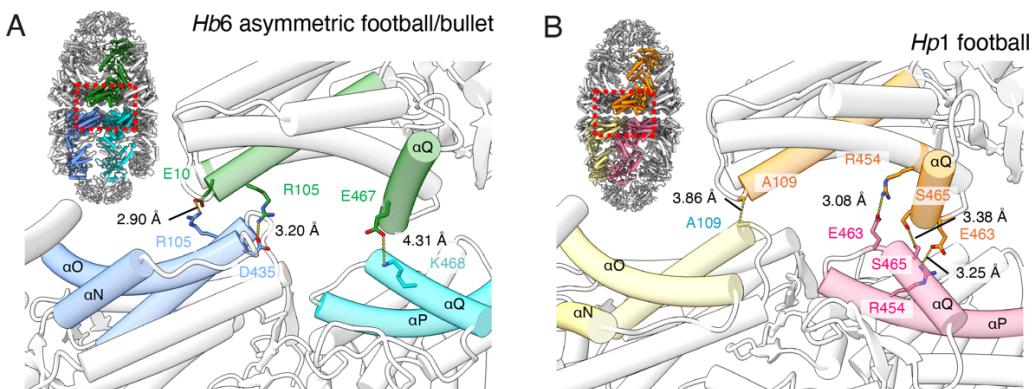


図4 水素細菌シャペロニン複合体のリング間の相互作用の比較

(A) *Hb6* シャペロニンの非対称フットボール型と弾丸型複合体に共通した相互作用。(B) *Hp1* の対称フットボール型複合体の相互作用。

が分かった(図4(A, B))。非加水分解性のAMP-PNPでは、赤道ドメインの構造変化を引き起こせなかったと思われる。

一方で、*Hb6* の複合体の trans-ring 内での構造を比較したところ、意外なことに、非対称フットボール型複合体の trans-ring の頂点ドメインは弾丸型に比べて外向きに構造変化していた(図5(A, B))。弾丸型の trans-ring で塩橋を形成してプロトマー同士を安定化していた K336-E257 は、非対称フットボール型の trans-ring では遠く離れている。これらの結果から、弾丸型複合体の trans-ring に GroES が結合すると、相互作用界面の構造変化が起こることが推測できた。そのため、GroES の結合が起こっている時点では、trans-ring の体積は膨大する。このようにゆるく蓋を閉めるような GroES の結合様式は、基質タンパク質の収容に十分なスペースを提供できると予想される。その後、対称型フットボール複合体に構造変化していく段階ではチャンバーのスペースの収縮が起こり、これがタン

パク質をフォールディングさせる物理的な力として働いていると推測される。

我々は *Hb6* のシャペロニン複合体の解析途中で、trans-ring に注目してクラス分けを試みたが、GroES 結合界面付近のマップはどうしても綺麗に解析できなかった。おそらくプロトマー間のコンフォメーションの非均一性によるものと思われる。なお、symmetry expansion 法を用いたプロトマーごとの解析結果は論文中で示している^[6]。このようなフレキシビリティも、上記のメカニズムに加え、基質タンパク質の収容に重要だと推測される。

本研究はSPring-8大学院生提案型課題2022A2767、2022B2556、2023A2763、2023B2545により実施しました。また SPring-8 での電顕測定に関して重松秀樹先生、Gerle Christoph 先生、Chai Gopalasingam 先生の協力、助言をいただきました。KEK での電顕測定は千田俊哉先生、安達成彦先生、川崎政人先生、守屋俊夫先生の協力をいただきました。また、一部のグ

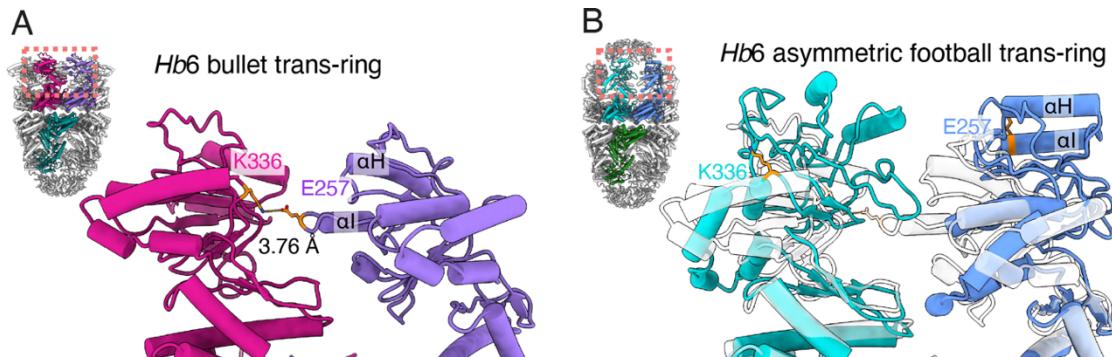


図5 *Hb6* シャペロニン複合体の trans-ring 内の相互作用の比較

(A)弾丸型複合体の相互作用。(B)非対称フットボール型複合体の相互作用。

リッド作成、電顕でのスクリーニングは胡桃坂仁志先生、滝沢由政先生、小笠原光雄先生の協力をいただきました。ディスカッションおよびサンプル提供で荒川孝俊先生、亀谷将史先生、新井博之先生、石井正治先生に協力をいただきました。多くの共同研究者の方々、実験施設のサイエンティストの方々にこの場を借りて感謝申し上げます。

参考文献

- [1] K. Braig *et al.*: *Nature* **371** (1994) 578-586.
- [2] N.A. Ranson *et al.*: *Cell* **107** (2001) 869-879.
- [3] D. K. Clare *et al.*: *Cell* **149** (2012) 113-123.
- [4] H. Arai, Y. Shomura, Y. Higuchi and M. Ishii: *Microbiol. Res. Announc.* **7** (2018) e00857-18.
- [5] H. Arai, H. Kanbe, M. Ishii and Y. Igarashi: *J. Bacteriol.* **192** (2010) 2651-2652.
- [6] Z. Liao *et al.*: *Structure* **32** (2024) 679-689.

廖 增威 LIAO Zengwei

東京大学 大学院農学生命科学研究科
応用生命工学専攻 酵素学研究室
(現所属) Laboratory of Prof. Andreas Martin
Department of Molecular & Cell Biology; QB3 Institute;
Howard Hughes Medical Institute
University of California at Berkeley
570 Stanley Hall
Berkeley, CA 94720-3220
e-mail : zengwei_liao_mark0@berkeley.edu

伏信 進矢 FUSHINOBU Shinya

東京大学 大学院農学生命科学研究科
応用生命工学専攻 酵素学研究室
〒113-8657 東京都文京区弥生 1-1-1
TEL : 03-5841-5151
e-mail : asfushi@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

10th International Conference on Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy (HAXPES 2024) 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 分光推進室
高木 康多

1. はじめに

2024 年 6 月 4 日～7 日にチェコ共和国のブルゼニにて硬 X 線光電子分光 (HAXPES、HArD X-ray PhotoElectron Spectroscopy) の国際会議 10th International Conference on Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy (HAXPES 2024) が開催された^[1]。一般に普及している軟 X 線領域の光電子分光 (XPS、X-ray Photoelectron Spectroscopy) では 2 keV 以下の励起光を用いるのに対し、HAXPES では励起光として硬 X 線を用いる。よって HAXPES では検出される光電子の運動エネルギーも数倍大きくなり、検出深さも数十 nm 程度になる。この結果、これまで表面敏感な測定であるために表面の影響を排除できなかった XPS と違い、表面から離れた深部の試料そのものの電子状態や結合状態を調べることが可能となった。現在では HAXPES は物性研究だけでなく、デバイス開発や電圧印加時の電極のオペランド測定など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も定着している。この会議はこうした HAXPES を軸として、各種の基礎物性研究や応用事例に加え、世界各地の放射光施設の最新のビームラインや硬 X 線領域の実験室 X 線源を用いた装置開発、また HAXPES に関連した物性理論も含む広範囲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グルノーブルで第 1 回が開催され参加者は 62 名であった^[2]。その 3 年後の 2006 年には SPring-8 で第 2 回目のワークショップが開催された。2009 年にブルックヘブンで第 3 回が開催された後は 2 年ごとの開催となっている。ただし前回の姫路で開催予定だった第 9 回に関しては、当初は 2021 年の予定だったが、コロナ禍のため 1 年延期され 2022 年の開催となった^[3]。そ

して、今回のブルゼニでの開催は記念すべき第 10 回目の開催である。

ブルゼニはチェコ共和国の西部の都市であり、首都のプラハから南西に 90 km 程度のところに位置する。空港からプラハ本駅までバスと電車で 30 分ぐらいかかり、さらにそこから電車で 1 時間半ほどかけてブルゼニ中央駅に到着する。ブルゼニには西ボヘミア大学があり、その大学に所属する Ján Minář 氏が本会議の実行委員長を務められた。また実際に会議が行われた会場は大学の近くにあるホテル (Parkhotel Pilsen) 内の会議場であった (写真 1)。なお、ブルゼニのドイツ語名はピルゼンであり、ピルスナービールの発祥の地として知られている。今回の会議の 2 日目の夕方にピルスナー・ウルケル醸造所の見学ツアーが用意され

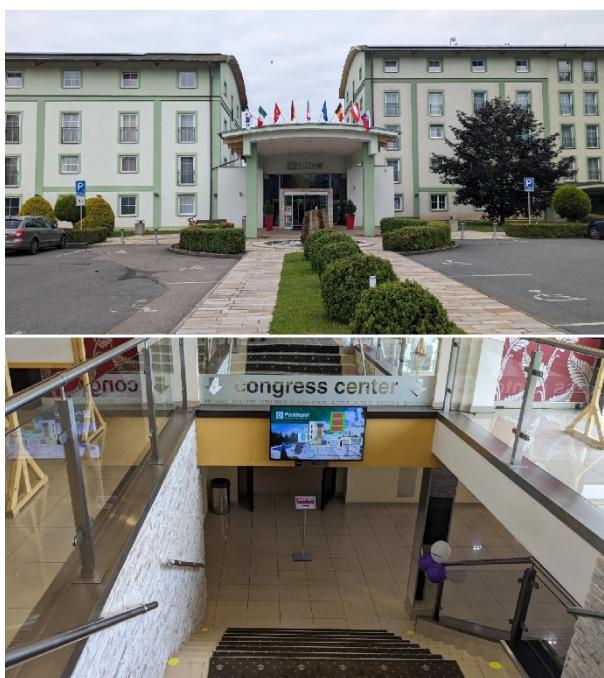


写真 1 HAXPES 2024 が開催された Parkhotel Pilsen
(上) とホテル内会議場の入り口 (下)

ており、参加者は元祖ピ尔斯ナーを楽しんだ。

前回の姫路開催はコロナ禍中であったため、感染対策の必要性に加えて海外からの渡航も制限があり、現地の対面とオンラインのハイブリッド形式での開催となった。筆者は現地実行委員を務めており、ハイブリッド開催に関する苦労は前回の報告書に詳しく記載してある^[4]。一方、今回はコロナの影響も減り、海外渡航の制限も緩和されたことによって、講演のオンラインの配信はなく現地のみの開催となった。本会議はシングルセッションで行われるため、写真2の部屋ですべて口頭講演が行われた。一方、ポスター講演はホテルのフロントから会場へ向かう階段付近のホワイエで行われた（写真3）。また企業展示も同じ場所で行われ、今回はHAXPESのアライザーを製造している3社が出展していた。これらの3社にはスポンサー講演として10分の講演枠がプログラム内に割り振られており、企業として製品をユーザーにアピールし、一方で参加者は先端の装置の開発状況の情報を得られる機会が用意されていた。これまでのHAXPES国際会議は放射光施設の近くで行われ、プログラム内に放射光施設の見学ツアーがあることが多かったが、今回ではなく、また大学等の研究室の見学も行われなかつた。施設見学は実際の装置を直接見て、その現場の担当者と詳しい議論できる貴重な機会であるため毎回楽しみにしているのだが今回は少し残念であった。

2. 会議の概要

本会議では4件のPlenary講演、12件のInvited講演、35件のContributed講演があり、またポスター



写真2 講演会場の様子



写真3 ポスター講演の様子

講演は57件であった。全日程は4日間であり、各日の最初にPlenary講演があり、その後にInvited講演を挟みながらContributed講演が行われた。初日と2日目は口頭発表が夕方まで続き、その後ポスター講演が行われた。3日目の講演は午前中で終わり、午後はエクスカーションが用意されていた。最終日は午前中のみの講演で次期開催地の発表とClosing Sessionを経て閉会となった。本会議の参加者は14か国から120名であった。コロナ禍前の2019年にパリで開催されたHAXPES 2019の参加者143名には及ばないが^[5]、100名を超える参加者が一同に会して議論を交わし、HAXPESに関する最新の情報を交換した。

講演の分類として表1に示す6つのトピックに分かれているが、同じカテゴリーで講演の順番にまとまりがある程度で、特にタイムテーブル的なセッションの切り分けはなかった。プログラム上では口頭での講演数の内訳としてApplied HAXPESが16件、ARPESが5件、Theory and Method Developmentが16件、Atomic and Molecular Spectroscopyが4件、Beamline Sessionが8件、Othersが2件となっている。しかしながら実際には講演内容が複数の分野にまたがる講演も多くあり、またシングルセッションということもあって、参加者は取捨選択することなくすべ

表1 講演分類

TOPIC 1:	Applied HAXPES
TOPIC 2:	ARPES
TOPIC 3:	Theory and Method Development
TOPIC 4:	Atomic and Molecular Spectroscopy
TOPIC 5:	Beamline Session
TOPIC 6:	Others

ての講演を聞くことになるので、この Topic による分類はあくまで目安程度の扱いであったと思う。

3. 講演の内容の概略

この項では筆者が聴講し、興味深かった口頭講演について紹介したい。深い内容まで説明はできないが、どのようなトピックが取り上げられたか雰囲気が伝わればあり難く思う。

初日は TOPIC 1 の Applied HAXPES の 16 件の講演が行われ、また TOPIC 5 の Beamline Session の講演が 3 件行われた。最初に Plenary 講演として Temple University の A. Gray 氏が HAXPES による物質の界面の測定についての報告を行った。HAXPES の深い検出深度を活かして $\text{LaNiO}_3/\text{CaMnO}_3$ の界面を測定している。また軟 X 線の定在波による深さ分解測定も相補的に用いており、界面での LaNiO_3 の金属絶縁体転移と CaMnO_3 の磁性状態について詳しく議論をしていた。続いて Stockholm University の P. Lömker 氏による Invited 講演で大気圧 HAXPES (AP-HAXPES) を用いての Co 表面上での Fischer-Tropsch 反応に関する研究が紹介された。ドイツの放射光施設である PETRA III の P22 ビームラインにある POLARIS という AP-HAXPES 装置を用いたガス雰囲気下の HAXPES 測定について詳しく議論され、さらに将来的にはグラファイト膜を取り込�认用いて動作圧力を高める計画について報告された。同じく Invited 講演として University of Oxford の R. Weatherup 氏からリチウムイオン電池の電極の測定についての報告があった。イギリスの放射光施設である Diamond の I09 ビームラインで測定しており、6 keV と 2.2 keV を励起光とする HAXPES および軟 X 線の PES との結果を組み合わせて議論した。また電極に電圧を印加した状態のオペランド測定も実施しており、可逆的な Li の反応や電解質の分解による副反応についても報告した。University of Konstanz の M. Müller 氏からは強誘電体キャパシタとして HfO_2 と TiN 電極の界面の HAXPES 計測が報告された。HAXPES の深い検出深度を用いて界面における Hf の価数を分析し、デバイスの性質に直結する酸素空孔の状態を議論している。この他、Uppsala University の R. Lindblad 氏は HAXPES によるハイ

エントロピー合金の測定について報告し、Roma Tre University の F. Offi 氏は金属水素化物の測定について報告した。一方、日本からも NIMS の S. Ueda 氏がスピニ分解 HAXPES について報告し、Osaka University の H. Fujiwara 氏からは角度分解直線偏光 HAXPES 測定についての報告があった。このように Applied HAXPES の TOPIC だけを見ても非常に多くの対象や手法に関する発表があり、HAXPES が広い分野へ適用されていることを感じられる内容だった。

また Beamline Session の 3 件の講演は、J.-P. Rueff 氏がフランスにある放射光施設 SOLEIL の GALAXIES ビームラインの HAXPES 装置について、D. Biswas 氏が Diamond の I09 ビームラインに最近導入された軟 X 線のモーメンタムマイクロスコープについて、S. Nemsak 氏が米国バークレイにある ALS の Beamline 11.0.2 に導入された AP-XPS と X 線散乱を組み合わせた装置について、それぞれ装置の特徴と最新の成果について発表した。Beamline Session については、この日だけでなく最終日にも 5 件の講演があった。

2 日目は TOPIC 3 の Theory and Method Development の 16 件の講演が行われた。Plenary 講演として Max-Planck Institute for Chemical Physics of Solids の A. Severing 氏からウランの 5f 裂の電子について、光イオン化断面積の HAXPES から軟 X 線の PES 領域までのエネルギーに対する依存性を利用してスペクトル分離を行う手法について報告された。続いて Invited 講演として SLAC National Accelerator Laboratory の T. Driver 氏から Linac Coherent Light Source (LCLS) のアト秒領域のダイナミクスの研究紹介があった。硬 X 線領域のアト秒の線源として HAXPES に応用されると非常に面白いかもしれない。また Johannes Gutenberg University Mainz の O. Fedchenko 氏は TOF 型のモーメンタムマイクロスコープで交代磁性 (altermagnetic) を持つ RuO_2 の磁気円二色性を測定し、時間反転対称性の破れの直接観測について報告した。測定に使われた TOF 型のモーメンタムマイクロスコープは PETRA III の HAXPES ビームライン P22 に設置されているが、今回報告された実験は PETRA III の軟 X 線のビームライン P04 のオープンポートにて実施されたものであ

った。

3日目はTOPIC 2のARPESの5件とTOPIC 6のOthersの2件の講演が行われた。Plenary講演としてArgonne National LaboratoryのJ. McChesney氏から共鳴角度分解光電子分光による量子材料系のバンド特性の解析が報告された。Invited講演としてはMax Planck Institute of Microstructure PhysicsのN. Schröter氏がトポロジカル半導体に関して、表面敏感な軟X線のARPES測定と硬X線の深い検出深度を利用したバルクのARPES測定を報告した。また同じくInvited講演として、Kyoto UniversityのD. Ootsuki氏は $\text{Ca}_{2-x}\text{Sr}_x\text{RuO}_4$ の金属-絶縁体転移について表面のARPESとバルクのHAXPES測定を比較してSr微量ドープ領域の電子構造を議論していた。ARPESでは主に軟X線が使われるため表面敏感な測定になるが、HAXPESはバルクに敏感な測定になる。表面とバルクの電子状態が異なっている場合や、埋め込まれた物質の測定にHAXPESを使うことで、HAXPESの特徴が活きる。またARPESと相補的なデータが得られ、詳しく議論をすることができる。またTOPIC 6のOthersではJASRIのA. Yasui氏が磁場下の試料の共鳴HAXPES計測について報告した。

最終日はTOPIC 4のAtomic and Molecular Spectroscopyの4件とTOPIC 5のBeamline Sessionの5件の講演があった。Plenary講演としてSorbonne UniversitéのO. Travnikova氏からSOLEILのGALAXIESビームラインを用いた気相の測定について報告された。また近年開発されたMUSTACHEという3次元のイオン運動量イメージングと高分解能の高エネルギー光電子分光が同時計測できるシステムについて報告された。またInvited講演としてUniversity of TurkuのE. Kukk氏からチオール分子からの光電子の反跳効果をシミュレーションし、その角度情報を分析することによって、分子の形状や配置などが解析できる可能性が示された。

またTOPIC 5のBeamline SessionにおいてはPaul Scherrer InstitutのE. D. Valle氏がSwiss Light SourceのADRESS beamlineにおける軟X線領域のARPES測定装置について報告し、Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und EnergieのA. Sokolov氏がBESSY-IIのu41-TXM-beamlineに導

入されたテンダーX線領域用の多層ブレード回折格子について報告した。筆者がSPring-8のBL46XUにあるAP-HAXPES装置について報告し、Lund UniversityのA. Shavorskiy氏がMAX IVの新しいHAXPESビームラインの計画について報告し、最後の講演としてJASRIのO. Seo氏がSPring-8の2つ目のHAXPES専用ビームラインBL46XUについて報告した。

本会議の講演は、全体を通して内容が理論から物性測定まで広くカバーされており、その対象も固体物性から化学反応、また原子・分子まで多岐にわたる。また最先端の測定の手法や装置、その他ビームラインについても報告されている。特に今回はHAXPESに限らず、軟X線のARPESや関連手法の話題も多くあり、今後の方向性として、HAXPESを軸に据えながらも、より広い分野を含めて議論した上で研究を検討する必要がある現状がうかがえた。本会議はシングルセッションのため講演を聴き逃すこともなく、HAXPESに関する情報を広く知ることができる。馴染みがない分野の講演を理解することはなかなか骨が折れるが、普段接している分野ではあまり得られない情報があるので、参加者には非常に有意義な会議になっていると思われる。

4. おわりに

Closing Sessionでは本会議の優れた講演に贈られるC. S. Fadley AwardとY. Takata Awardが発表された。この2つの賞は今回はポスター講演の中から選ばれており、Y. Takata AwardはOsaka UniversityのG. Nozue氏が受賞した。また、これらの賞以外にbest oral presentationsとして3講演が選出され、その一つをOsaka Metropolitan UniversityのA. Hariki氏が受賞している。彼らにはHAXPESの分野での今後の一層の活躍が期待される。

次回HAXPES 2026はイギリスのOxfordでの開催が予定されている(2026年6月)。これからの2年で起こるであろうHAXPESの発展を考えると、次回の会議がまた楽しみである。

参考文献

- [1] <https://www.haxpes2024.zcu.cz/en/>
- [2] 島田賢也: 放射光 **17** (2004) 26-27.
<https://www.esrf.fr/events/conferences/HAXPES/>
- [3] <http://rsc.riken.jp/haxpes2022/>
- [4] 安野聰、高木康多: SPring-8/SACLA 利用者情報 **27**
(2022) 207-212.
- [5] 保井晃: SPring-8/SACLA 利用者情報 **24** (2019) 294-
297.

高木 康多 TAKAGI Yasumasa

(公財) 高輝度光科学研究所
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 24 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 木下 豊彦 (JASRI)

夏の学校の概要

「第 24 回 SPring-8 夏の学校」は 2024 年 7 月 7 日 (日) ~7 月 10 日 (水) の 4 日間の日程で、全国 26 校から 84 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とこれらの機関と連携大学院協定を持つ大学、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など（理化学研究所 放射光科学的研究センター、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 関西光量子科学研究所、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、大阪大学光科学連携センター・蛋白質研究所・核物理研究センター、茨城大学大学院理工学研究科、東京大学シンクロトロン放射光連携研究機構、島根大学、(公財) 高輝度光科学研究センター (JASRI)）が主催して、ビームタイムや講師を供出し合って行ったものです。校長は兵庫県立大学教授の田中義人先生にお願いしました。実行委員会は主催団体のスタッフで構成され、事務局は JASRI 利用推進部が行いました。なお、主催大学の中には夏の学校への

参加を講義として単位認定しているところもあります。

カリキュラムについて

夏の学校では通例として、初日に 3 講義、2 日目に 4 講義を行い、その後の 2 日間に各自が希望するテーマのビームラインにおいて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。



写真 1 講義風景

第 24 回 SPring-8 夏の学校 日程表 – 2024 年 7 月 7 日 (日) ~10 日 (水)

	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
7/7 (日)	9:00~ 9:30~ 9:50~	9:50~11:20 ※講義 1 放射光生物学の基礎 正木 淳博 (JASRI)	11:20~12:30 休憩	12:30~14:00 ※講義 2 ビームライン ～光路と実験ステーションを覗くもの～ 仙波 奈徳 (JASRI)	休憩 15分	14:15~15:45 ※講義 3 X線極端な基礎 今井 康彦 (JASRI/RIKEN)	休憩	16:00~17:30 集合 写真 参加者自己紹介	17:30~	18:00~		
7/8 (月)	9 9:00~10:30 ※講義 4 X線自由電子レーザー入門 山口 家太 (理化宇宙研究所)	10 10:50~11:20 SACLA 亮子	11 11:20~12:30 休憩	12 12:30~14:00 ※講義 5 X線イメージング 竜谷 浩 (兵庫県立大学)	休憩 15分	14:15~15:45 ※講義 6 X線回折入門 藤原 明比古 (関西学院大学)	休憩 15分	16:00~17:30 ※講義 7 XFEL基礎 田淵 雅夫 (名古屋大学)	17:30~18:30 夕食	18:30~20:30 SPring-8実験ホール見学		
7/9 (火)	9	10	11	12	13 9:30~17:00 BL実習 1	14	15	16	17~18 17:00~18:30 SPring-8蓄積リング (放射光発生装置) 見学	18:30~20:00 夕食 (BBQ)		
7/10 (水)					9:30~17:00 BL実習 2				17:30~ 18:00 閉校式			

ビームライン実習について

実習は 28 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・片山真祥（JASRI）・伊奈稔哲（JASRI／関西学院大学））

BL02B1 単結晶構造解析の入門（野上由夫（岡山大学）・中村唯我・一柳光平（JASRI））

BL02B2 粉末 X 線構造解析の基礎（河口彰吾・小林慎太郎・森祐紀（JASRI））

BL04B1 大容量高圧プレスと白色 X 線を用いた X 線回折実験（肥後祐司（JASRI／茨城大学）・柿澤翔・辻野典秀（JASRI））

BL04B2 高エネルギー X 線を用いたガラス・液体の構造解析（尾原幸治・廣井慧（島根大学／JASRI）・山田大貴・下野聖矢（JASRI））

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（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 共鳴非弾性 X 線散乱・X 線発光分光による白金微粒子酸化還元のオペランド計測（石井賢司（QST）・松村大樹（JAEA））

BL13XU サブミクロン集光放射光ビームによる局所領域回折実験（隅谷和嗣（JASRI））

BL14B2 XAFS 分析の基礎（大瀬博宣・渡辺剛（JASRI））

BL17SU 光電子顕微鏡～ナノ分解能で見る元素分布と磁気構造～（濱本諭（理研）・菅大暉（JASRI／理研））

BL19B2 粉末 X 線回折（大坂恵一・赤田圭史・池田理（JASRI））

BL20XU 放射光 X 線イメージングと基礎データ解析（上相真之・佐田侑樹（JASRI）・竹内晃久（JASRI／島根大学））

BL22XU X 線回折法を利用した金属材料応力・ひずみ評価（菖蒲敬久・富永亜希（JAEA））

BL25SU 軟 X 線光電子分光を用いた電子状態解析

（山神光平（JASRI）・横谷尚睦（岡山大学））

BL26B1 単結晶回折（タンパク質）（上野剛（理研）・河村高志（JASRI））

BL29XU X 線ライトシート顕微鏡実験（香村芳樹・高野秀和・Sierra Dean（理研））

BL31LEP GeV 光ビームの生成と物質との相互作用（石川貴嗣・水谷圭吾・小早川亮・桂川仁志・田中慎太郎・橋本敏和（大阪大学））

BL35XU 放射光核共鳴散乱測定 -原子核脱励起過程の観察-（依田芳卓・永澤延元（JASRI））

BL37XU 走査型顕微分光法の基礎（新田清文・閑澤央輝（JASRI））

BL38B1 BioSAXS によるタンパク質分子の溶液構造解析（関口博史・長尾聰（JASRI））

BL41XU 単結晶回折（タンパク質）（坂井直樹・水野伸宏（JASRI）・山下栄樹（大阪大学蛋白質研究所）・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・萬條太駿（JASRI））

BL44B2 全散乱計測における誤差解析（加藤健一（理研））

BL44XU 単結晶回折（タンパク質）（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（安野聰・Seo Okkyun・高木康多（JASRI））

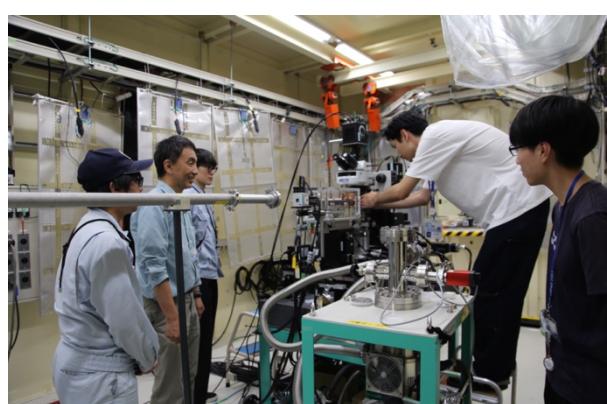


写真 2 実習風景

ここ数年は、新型コロナウイルス対策として、かつて行っていた懇親会やバーベキューは実施しませんでしたが、これまでのアンケート結果からも要望の強かったイベントであり、今年は実施することができました。今回参加された学生の多くは、大学時代、新型コロナの影響でリモートによる講義受講を余儀なくされ、サークル活動なども制限されていた世代になります。今回の企画が、いろいろな人との交流の初めての経験である参加者もあり、このような研究者や他大学の仲間との交流が意義深いものになったという声が多く聞かれました。

講義や実習でも多くの質問が出され、例年以上に積極的な参加者が多かったように感じました。

謝辞

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

木下 豊彦 KINOSHITA Toyohiko

(公財)高輝度光科学研究所
放射光利用研究基盤センター
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-0803 ext. 3219
e-mail : toyohiko@spring8.or.jp

第 24 回 SPring-8 夏の学校に参加して

東京大学大学院 理学系研究科
佐藤 美彩希

私は現在の研究で、ダイヤモンドアンビルセルを用いた、低温高圧その場での X 線回折実験 (XRD) を行

っております。昨年の 12 月に高エネルギー加速器研究機構 (KEK) のフォトンファクトリー (PF) にて、初めて放射光を用いた実験をした際、研究室の X 線では測定できないデータを得ることができ、私にとって放射光は大きな存在となつたのですが、実際に放射光がどのように生み出され、どのような恩恵をその他の測定手法に対してもたらしているのか、全くわかつていませんでした。そこで、放射光の発生原理から、放射光を用いた様々な実験手法について学ぶことができる良い機会だと考え、この夏の学校に参加させていただくことに決めました。

今回の夏の学校では、1、2 日目は講義、3、4 日目は各ビームラインでの実習がメインで行われ、2、3 日目にそれぞれ SACLA、蓄積リングの見学がありました。1 日目は放射光の発生原理やビームライン、検出器についての講義ということで、私が今まで受けたことがないようなお話を聞くことができました。特に、私はほぼ XRD しかまともに測定したことがないので、そこで使用したことがない検出器について少しでも知ることができたのが印象深かったです。また、具体的に放射光がリング内でどのように作られているのか、専門の方から直接教えていただけたというのには非常にありがたかったです。講義を通じ放射光発生についてのイメージをつかんだ後に、3 日目のリング見学で実物を見られたということで、この見学が意義深いものになったと感じました。数年後 SPring-8-II になるときに、現在の磁石たちは新しいものに入れ替わってしまうということで、名残惜しさを感じながら写真を撮りつつ見学をしました。2 日目には、名前は知っていたが測定原理を全く理解していないかった実験手法について学ぶことができたのでよかったです。特



写真 3 見学風景

に、SPring-8 と言えば SACLAA という方が多いと思いますが、自由電子レーザーについての講義は印象的でした。私の実験で使用することはなく、失礼ながら今まで可愛い名前だなという感想しかなかったのですが、どれだけ偉大な技術であるのかについて知ることができたので、大変面白かったです。自分が普段測定している XRD についての講義も、理解できていなかった部分を明白にることができ、とてもためになりました。

3、4 日目の実習では、各自希望したビームラインにて実習を行いました。私は BL25SU にて軟 X 線を用いた X 線光電子分光 (XPS) を、BL02B1 にて単結晶 XRD を行いました。前者では、XPS の測定原理から解析方法まで体験を通して知ることができ、とても面白かったです。他の参加者と協力して、ディスカッションしながら課題を進めることができたことがとても印象に残っています。後者では、普段自分が行っている実験とは少し違った条件での測定ということで、単結晶 XRD についての理解をより深めることができました。両方の実習において、研究で XRD を行っている“仲間”の参加者に複数会うことができ、話ができることが嬉しかったです。学会で再会することができたらいいなと思います。

上記のように、カリキュラムから多くのことを学ぶことができましたが、私にとってのさらに貴重な時間

は、懇親会や BBQ でした。参加前は、他の参加者とうまく交流できるか心配で仕方がなかったのですが、勇気を持って参加することで、多種多様な大学、研究分野の方々と交流し仲良くなることができました。学部4年から同じ研究室に所属していたこともあり、自分が所属する研究室以外の学生と交流する機会が今までほとんどなかったので、自分が知らなかった研究についてたくさん知ることができたのが楽しかったです。場所は違っても自分と同じように研究をしている同世代がたくさんいるとわかり、心強くも思えましたし、もっと私も頑張らなくてはいけないという刺激ももらいました。この文章を書きながら涙が出そうになる程の、忘れられない思い出です。一生懸命準備してくださった実行委員会の方々に、心から感謝いたします。

長くなりましたが、今回の夏の学校を通じ、ここには書ききれないほど多くのことを学ぶことができました。きっと私だけではなく、全参加者が感じていることかと思います。第24回 SPring-8 夏の学校を運営してくださった実行委員会の皆様、わかりやすい講義を提供してくださった講師の皆様、面白い実習をしてくださったビームライン実習担当の皆様、関わっていただいた皆様に深くお礼申し上げます。今感じている余韻を忘れずに、より一層研究、勉強に対し努力して参ります。ありがとうございました。



写真4 記念写真

第74回アメリカ結晶学会年会

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

1. はじめに

American Crystallographic Association's 74th Annual Meeting (ACA、アメリカ結晶学会年会) は毎年7月頃に開催される結晶学の会議である。74回目の今年はコロラド州デンバーで7/7~7/12の日程で開催された。会場は、デンバーの中心部から電車で約30分のデンバーテクノロジーセンターという落ち着いた雰囲気のビジネス地区にあるThe Denver Marriott Tech Centerという4つ星ホテルであった。

初日の7日は日中にサテライトワークショップが5つ開かれ、夜に基調講演とopening receptionが開催された。私が参加したのは翌8日からであるが、この日から11日の4日間は午前と午後に6つのパラレルセッションがあり、それぞれ4~7件の発表があった。ポスターセッションは8~10日の3日間設けられ、口頭セッション終了後の午後5時から7時半まで開かれた。合計106件の発表ポスターはいずれも3日間掲示され(写真1)、発表者は3日間の内1日だけポスターの前で説明するという仕組みであった。

ポスター会場から少し離れたホールには企業展示会場(写真2)があり約20件の出展があった。展示会場ではコーヒーなどの飲み物が提供され、セッショ



写真2 企業展示会場

ンの途中に設けられた30分間の休憩中に参加者が集まり交流の場となった。また、ポスターセッション中には軽食やビールなどのアルコールも振る舞われ、直ぐ近くのポスター会場では飲み物を片手に和やかに議論する様子も見られた。

2. Scientific program

生物分野でのクライオ電子顕微鏡(CryoTEM)による構造研究の広まりを受け、ACAでは結晶解析や溶液散乱だけではなくCryoTEMに関するセッションも設けられている。今回もCryoTEMによる単粒子解析に加えトモグラフィーや電子線回折(MicroED)による構造解析に関するセッションがあった。また、金属タンパク質に関するセッション、創薬に関するセッションなどもあったが、いずれもX線結晶解析とCryoTEMによる研究が混ざった構成となっていた。今年のACAのテーマが“A Golden Future for Structural Science”であることが示すように、ACAは今や結晶学というよりも手法によらず構造科学研究を議論する場となっている。

ここからは筆者専門である放射光構造生物学に関わる放射光ビームライン、シリアル結晶解析、生体

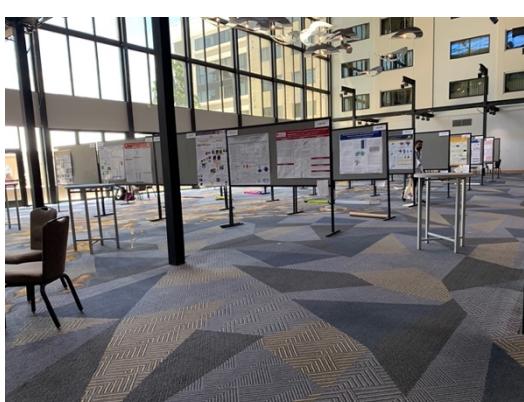


写真1 ポスター会場

高分子結晶解析への AI・機械学習の利用に関する発表について報告したい。

放射光ビームラインについては 2 日目の午前と午後に「Light Sources Through the Decades - Part 1」、同「Part 2」のセッションが開催された。アップグレード後のミッショニングが進んでいる Advanced Photon Source (APS) を念頭に組まれたプログラムと推察され、Part 1 では粉末回折や生体高分子の分野において放射光利用の黎明期からこれまでを振り返る以下のような発表があった。

- 「The Early Days of Powder Diffraction at NSLS-I」 D. Cox 氏 (ブルックヘブン国立研究所)
- 「Building the Power of Modern Macromolecular Crystallography」 R. Sweet 氏 (ブルックヘブン国立研究所)
- 「From X-ray Synchrotrons to Storage Rings – Revolutionizing Determination of Biological Structure」 K. Hodgson 氏 (スタンフォード大学)
これを受ける形で午後の Part 2 ではアルゴンヌ国立研究所の U. Ruett 氏と R. Fischetti 氏がそれぞれ「The New Era of Structural Science」、「The renewed GM/CA@APS Structural Biology Facility and APS-Upgrade」というタイトルでアップグレード後のビームラインに関する発表を行った。U. Ruett 氏は APS-U で目指すサイエンスとして回折・散乱・分光など“Core technique”と Grain mapping・XPCS・タイコグラフィーなどの“Exploratory technique”的 2 方向性を示した。放射光施設で得られる成果は、マシン・光源・検出器・ビームライン等に加えてユーザーやスタッフの相乗効果であるとし、放射光にかかわる人材の重要性を強調されていたのが印象的であった。

R. Fischetti 氏はタンパク質結晶解析（以後 MX）ビームライン GM/CA@APS (23ID-B, D) について発表した。2012 年の B. Kobilka 氏のノーベル賞受賞等に貢献したビームラインの歴史を振り返った上で、アップグレードした光源を生かすための光学系や制御ソフトウェアについての報告があった。改修後は屈折レンズを用いた光学系によりエネルギー領域 5~35 keV、ビームサイズ 1~50 μm の X 線が利用でき、その強度は 1×10^{13} (photons/s) になるとのことであった。また X 線損傷の観点から高エネルギー X 線の

利用が有利であることをデータを見せながら示し、検出器としては高エネルギー領域まで利用できる Eiger2 16M CdTe を使用するとのことであった。SPring-8 の BL41XU では主として超高分解能データ測定のために 25 keV 以上の高エネルギー X 線を用いた測定を提供し続けてきたが、今後は通常のデータ測定においても高エネルギーの利用が広がるように思われる。

また、このセッションでは現在アップグレードが進んでいる Swiss Light Source (SLS) の V. Olieric 氏から 3 本の MX ビームラインの内の一つ X06DA-PXIII についての発表があった。SLS のアップグレード前に改修を終えたこのビームラインでは、50 サンプル/時間のハイスループット自動測定を目指しているとのことであった。また、近年本分野で注目されている室温での測定についても言及があった。“Cryo2RT”と名付けられたこの手法では、凍結結晶をゴニオメータに載せた後に室温に戻して回折実験を行うようである。試料によっては融解とともに試料の劣化の可能性はあるものの、保存や輸送に便利な凍結結晶の利点を活かした室温測定方法であるように感じた。

また、別のセッションではあるが MX ビームラインに関する発表として NSLS II の J. Jakoncic 氏による The highly Automated Macromolecular Crystallography (AMX) ビームラインの発表があった。AI 等を使い 1 日 1,000 個以上のハイスループット測定を目指しているということであった。J. Jakoncic 氏の発表と前述の V. Olieric 氏の発表に共通に出てきたのは“Autonomous”という言葉であった。20 年以上前から自動化が進んできた MX ビームラインは、試料の位置合わせや回折画像の認識などに AI の利用が始まりつつある。今後“Autonomous”は MX ビームラインのキーワードになるようと思われた。

シリアル結晶解析のセッションでは、XFEL・放射光・電子顕微鏡を用いた微小結晶解析や時分割構造解析等についての発表があった。この中から以下 2 つの発表を紹介したい。

コーネル大学の K. Zielinski 氏は Mix-and-inject serial crystallography による酸化ストレスにかかる酵素の時分割構造解析について発表した。この手法はタンパク質微小結晶の懸濁液に基質溶液を混ぜることで反応を開始し、一定の遅延時間後に X 線を照射

して回折データを取得する手法である。マイクロ流路を用いた独自の試料セルをAPSのBioCARS(14-ID)ビームラインに持ち込み、ピンクビームを用いた測定で遅延時間3~30秒の間の構造変化を捉えることに成功していた。一つのタイムポイントあたりの測定に1~4時間要したそうであるが、高速検出器の利用により2~10分に短縮されるであろうとのことであった。

また、Diamond Light Source (DLS) のA.Orville氏は今後5~10年で生体高分子の時分割構造解析をルーチン化させるという大きな目標を掲げ、そのために進めているマイクロ流路やテープドライブによる試料搬送方法や反応開始方法の技術開発について発表した。またXFEL施設に比べてアクセスの容易な放射光ビームラインの利用を強調し、上述の技術開発もDLSのMXビームラインを活用して進めているとのことであった。SPring-8のBL41XUにおいても生体高分子の時分割構造解析の立ち上げを進めているが、XFELで始まったシリアル法による時分割構造解析は放射光の利用へと着実に広まっているようである。

構造解析へのAI・機械学習の利用については「Biological Structures from Artificial Intelligence」、「AI in Modern Crystallography」といったセッションに加えて「Data Analysis Software & Applications」のセッションでも発表があった。最後にこの中から2つの講演を紹介したい。

ウィスコンシン大学のM.Schmidt氏は、生体高分子の時分割結晶解析において共存する複数の中間状態を分離するために開発したソフトウェアKINNTREX (kinetics-informed neural network for time-resolved X-ray crystallography)^[1]について発表した。複数の中間体をもつ反応の場合、反応経路が複数考えられる。従来は反応経路を仮定した上でsingular value decomposition (SVD) 法により複数の状態を分離していたが、ニューラルネットワークによる計算を取り入れたKINNTREXでは反応経路の仮定を入れることなく正しい経路を推測しその反応中間体の差電子密度マップを計算することができることであった。

またハーバード大学のD.R. Hekstra氏は回折データ処理の最終段階に行う①回折強度のスケーリング②等価な回折反射強度の平均化③強度から構造振幅

への変換への機械学習の利用について発表した。従来の方法ではこの順番に逐次計算しているが、ベイズ推定と機械学習を取り入れワンステップで計算するということである^[2]。異常分散による硫黄位置の検出やピンクビームを用いた時分割測定のデータ処理などへの利用例を見せ、精度の良いデータが必要な解析において十分に利用できることを示した。そのソフトウェアの名称はCarelessと名付けられ、従来よりこの分野で広く用いられているAimless^[3]というソフトウェアへの敬意を示しているとのことであった。

MXビームラインでは先に述べたとおり時分割構造解析が重要なテーマになっている。得られたデータから重要な情報を抽出するためのKINNTREXやCarelessなどのソフトウェアの登場はこのような研究において強力な武器になるであろう。

3. おわりに

私がACAに参加したのは2016年以来である。奇しくもその年も開催地はデンバーであったが、その時と比べてACAの規模が小さくなった印象を感じた。その理由は構造解析に関する結果の発表の数が少なくなったからであるように思われた。しかし、ここで紹介したように手法開発にかかる発表は以前と変わらず活発な発表・議論がなされており、久しぶりに参加して非常に面白い学会であったように感じた。来年はAPSの近くにあるランバード市で7/18~23の日程で開催される。APS-Uの立ち上がりが完了しそこで得られた様々な成果についての報告が期待される。

参考文献

- [1] G. Biener *et al.*: *IUCrJ* **11** (2024) 405–422.
- [2] K. M. Dalton *et al.*: *Nat. Commun.* **13** (2022) 7764.
- [3] P. R. Evans & G. N. Murshudov: *Acta Cryst. D* **69** (2013) 1204–1214.

長谷川 和也 HASEGAWA Kazuya

(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 : kazuya@spring8.or.jp

2025A 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中心

2025A 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：2024 年 9 月末

応募締切：2024 年 11 月上旬

課題の申請や、申請の際の注意事項等の詳細につきましては、SACLA Web サイト（SACLA User Information）上の、SACLA Guide > 利用制度／募集案内 > 現在募集中の利用研究課題等 (<https://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、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中心 利用推進部 共用推進課
TEL : 0791-58-0961
e-mail : sacla.jasri@spring8.or.jp

2025A 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

2025A 期 SACLA 試験利用の募集を以下の日程で行います（予定）。SACLA 試験利用は、今後の科学的価値の高い実験の実施を目指して、予め SACLA を試験的に利用していただくものです。

募集開始：2024 年 9 月末

応募締切：2024 年 11 月上旬

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

なお、SACLA 試験利用は、利用研究課題との併願も可能です。

申請にあたり、ご不明な点がございましたら下記までお問い合わせください。

[問い合わせ先] 〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
公益財団法人高輝度光科学研究センター 利用推進部 共用推進課
TEL : 0791-58-0961
e-mail : sacla.jasri@spring8.or.jp

2024B 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 25 期目に当たる 2024B 期（2024 年 9 月～2025 年 2 月）の利用研究課題応募 54 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 46 課題を採択しました。

1. 募集、審査及び採択等の日程

2024B 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。

（2024 年）

4 月 18 日	ホームページで募集案内公開	
5 月 24 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 17 日 第 27 回 SACLA PRC（総合審査）		
7 月 31 日 第 30 回 SACLA 選定委員会（審査結果の意見聴取）		
8 月上旬 JASRI として採否決定、結果通知		
9 月 17 日 2024B 期利用開始予定		

2. 応募、採択及びビームタイム配分状況

2024B 期の応募課題数は 54、採択課題数は 46 でした。また応募課題のうち 53 件は一般課題／成果非専有利用、1 件は一般課題／成果専有利用でした。ビームライン別・申請者所属別の応募・採択課題数を表 1 に、採択された課題の要求シフト数および配分シフト数を表 2 に示します。

採択 46 課題に対しビームタイムは計 265.8 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 46 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 > 2024B
http://sacla.xfel.jp/wp-content/uploads/sacla_approved_proposal_2024b_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	0	0	4	2	2	1	4	4	10	7	
BL2/BL3	1	1	19	18	5	4	19	16	44	39	
合計	1	1	23	20	7	5	23	20	54	46	85%

表 2

（単位：シフト数）

課 題 種	応募課題 (54 課題) の 全要求シフト数	採択課題 (46 課題) の 全要求シフト数	採択課題 (46 課題) の 全配分シフト数	C/A	C/B
				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）	322.0	272.0	265.5	82%	98%
一般課題（成果専有）	0.3	0.3	0.3	100%	100%
合 計	322.3	272.3	265.8	82%	98%

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
高輝度光科学研究中心 利用推進部
TEL : 0791-58-0961
e-mail : sacla.jasri@spring8.or.jp

2021B期 採択長期利用課題の事後評価について - 2 -

登録施設利用促進機関
公益財団法人高輝度光科学研究中心
利用推進部

2021B期に採択された長期利用課題について、2023A期に2年間の実施期間が終了したことを受け、第75回SPring-8利用研究課題審査委員会長期利用分科会(2023年12月19日開催)による事後評価を行われました。

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、2021B期に採択された長期利用課題2課題のうち1課題の評価結果は2024年春号に掲載済みです。

課題名	はやぶさ2リターンサンプルのX線CTを用いた初期分析と詳細分析
実験責任者(所属)	松本 恵(東北大学)
採択時課題番号	2021B0185
ビームライン	BL47XU, BL20XU
利用期間/配分総シフト	2021B~2023A/150シフト

[評価結果]

本長期利用課題は、はやぶさ2探査機が小惑星リュウグウから2020年12月に持ち帰った試料に対して、複数の放射光X線CT手法を組み合わせ、マルチスケールの非破壊三次元分析を実施したものである。BL20XUでは30 keV以上の高エネルギーX線を用い、広視野CT、XRD-CT、局所高分解能CTによる粒径100 μm以上の粒子の分析が行われた。一方、BL47XUでは、7-8 keVの比較的低エネルギーのX線を用いたdual-energy tomography(DET)、scanning imaging X-ray microscopy(SIXM)による粒径の小さい試料中の鉱物相の同定や分布の解析が行われた。

これらを通じ、水質変成にもなう二次鉱物形成過程や有機物の再配置、彗星塵衝突等、宇宙空間におけるリュウグウの形成や進化プロセスの解明につながる多くの成果が得られた。その中には、宇宙空間からの回収試料の分析によって初めて明らかになった知見も含まれる。

このように本課題においては、社会的にも関心の高いはやぶさ2プロジェクトの成果の一角をなす重要な実験が行われ、当初目的としていた研究内容が十分に達成されている。その研究展開は、タイムリーに集中的な研究を実施し、科学的価値が非常に高い成果を挙げたという点で、長期利用課題のねらいに的確に沿ったものである。本研究の波及効果は、太陽系内の物質科学や生命の起源などに関わる研究等、惑星科学の範囲にとどまらず、希少試料の取り扱いや、顕微分析に先行する非破壊三次元解析による予備測定分析など、貴重な微小試料の分析手法のモデルとして、材料科学など他分野への展開も大いに期待されるところである。一連の成果は、非常に影響力のある雑誌に多数論文として掲載されているほか、プレスリリースや報道も行われており、情報発信の点では十分である。また、国際共同研究を通じて、SPring-8とその分析能力の国際的な存在感を高めることにもつながっている。

以上により、本課題は、大きな国際共同研究の枠組みの中で相応の役割を果たすとともに、独立した研究課題としても十分な成果が得られていると認められる。長期利用課題として大きな意義があったと評価される。

[成果リスト]

(査読付き論文)

[1] SPring-8 publication ID = 45386

- M. Ito *et al.*: “A Pristine Record of Outer Solar System Materials from Asteroid Ryugu’s Returned Sample” *Nature Astronomy* **6** (2022) 1163-1171.
- [2] SPring-8 publication ID = 45389
T. Yokoyama *et al.*: “Samples Returned from the Asteroid Ryugu are Similar to Ivuna-type Carbonaceous Meteorites” *Science* **379** (2022) abn7850.
- [3] SPring-8 publication ID = 45497
T. Nakamura *et al.*: “Formation and Evolution of Carbonaceous Asteroid Ryugu: Direct Evidence from Returned Samples” *Science* **379** (2022) abn8671.
- [4] SPring-8 publication ID = 45499
T. Noguchi *et al.*: “A Dehydrated Space-weathered Skin Cloaking the Hydrated Interior of Ryugu” *Nature Astronomy* **7** (2023) 170-181.
- [5] SPring-8 publication ID = 46156
D. Nakashima *et al.*: “Development of Preparation Methods of Polished Sections of Returned Samples from Asteroid Ryugu by the Hayabusa2 Spacecraft” *Meteoritics and Planetary Science*. (2023) Online published 3 Jul. 2023.
- [6] SPring-8 publication ID = 46157
Z. Dionnet *et al.*: “Three-dimensional Multiscale Assembly of Phyllosilicates, Organics, and Carbonates in Small Ryugu Fragments” *Meteoritics and Planetary Science* (2023) Online published 2 Sep. 2023.
- [7] SPring-8 publication ID = 46159
T. Noguchi *et al.*: “Mineralogy and Petrology of Fine-grained Samples Recovered from the Asteroid (162173) Ryugu” *Meteoritics and Planetary Science* (2023) Online published 22 Nov. 2023.
- [8] SPring-8 publication ID = 46837
M. Matsumoto *et al.*: “Microstructural and Chemical Features of Impact Melts on Ryugu Particle Surfaces: Records of Interplanetary Dust Hit on Ssteroid Ryugu” *Science Advances* **10** (2024) eadi7203.

2022A期 採択大学院生提案型課題（長期型）の事後評価について

登録施設利用促進機関
公益財団法人高輝度光科学的研究センター
利用推進部

2022A期に採択された大学院生提案型課題（長期型）のうち、1課題が2023B期に2年間の実施期間を終了したことを受け、第9回大学院生利用審査委員会（2024年3月12日開催）による事後評価が行われました。

事後評価は、大学院生利用審査委員会において実験責任者が発表を行い、質疑応答を行った後、評価を行うという形式で実施しました。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、事後評価において、「独創的、挑戦的、意欲的な研究成果であること」「実験責任者として、研究立案、遂行を主体的に行ったこと」「優れた成果/取り組みと認められること」と評価され、実験責任者の中谷勇希氏には、公益財団法人高輝度光科学的研究センターよりSPring-8大学院生課題優秀研究賞が授与されました。

課題名	In-situ XAFS 測定を用いた高性能アルカン脱水素合金触媒の局所構造解析
実験責任者(所属)	中谷 勇希（北海道大学）
採択時課題番号	2022A0302
ビームライン	BL01B1
利用期間/配分総シフト	2022A～2023B/48 シフト

[評価結果]

アルカン脱水素反応用の高性能合金触媒開発における問題を、独創的な触媒合成技術によって解決することを目的として設定した4つのテーマについて、XAFSによる局所構造解析から開発した触媒の有効性、材料設計の方向性に関する知見を得る成果を達成されました。XAFS測定技術としては一般的な使い方をしている研究ですが、材料（触媒）合成の技術開発を軸に、物性評価、数値計算技術による理論的検証とXAFSによる構造検証を有効に組み合わせて取り組み、本材料開発の進歩に資する有益かつ新規の成果を上げていると評価します。

申請時の審査において審査員から示された、4つのテーマの量的な多さから消化不良になるのではないかという懸念も、その精力的な研究への取り組みの姿勢で克服されました。一部、当初期待された成果を上げられなかったテーマもありますが、その結果を踏まえて研究の方向を変更して当初予定していなかった新たなテーマを設定し、研究成果をあげる臨機応変さも示されています。

以上の点から本課題の実験責任者である中谷氏には研究者としての資質を感じられ、今後のさらなる活躍が期待されます。長期課題の定期的にSPring-8利用機会を確実に確保できる利点を有効に活用した成果と言えるかと思います。



写真1 左から、JASRI 山口章 常務理事、中谷勇希 氏、JASRI 木村滋 利用推進部長、JASRI 加藤和男 主幹研究員 (BL01B1 担当)

[成果リスト]

(査読付き論文)

[1] SPring-8 publication ID = 47263

中谷 勇希: “アルカン脱水素に有効な多元素合金触媒の開発” 北海道大学大学院博士論文

[2] SPring-8 publication ID = 44907

Y. Nakaya *et al.*: “Interstitial Carbon Dopant in Palladium–Gold Alloy Boosting the Catalytic Performance in Vinyl Acetate Monomer Synthesis” *J. Am. Chem. Soc.* **145** (2023) 2985–2998.

[3] SPring-8 publication ID = 44156

Y. Nakaya *et al.*: “High-Entropy Intermetallics Serve Ultrastable Single-Atom Pt for Propane Dehydrogenation” *J. Am. Chem. Soc.* **144** (2022) 15944–15953.

[4] SPring-8 publication ID = 47264

Y. Nakaya, and S. Furukawa: “Subnanometric Platinum–Germanium Clusters Break the Activity–Stability Tradeoff in Propane Dehydrogenation” *ChemRxiv* (2023).



SPring-8 運転・利用状況

国立研究開発法人理化学研究所
放射光科学研究センター

◎2024年4~7月の運転実績

SPring-8は4月3日から4月25日までセベラルバンチ運転で第1サイクルの運転を行い、春期点検調整期間をはさみ、5月9日から7月5日までセベラルバンチ運転で第2サイクルの運転を実施した。

第1~2サイクルでは、SR RF Cst. Cav3反射異常による停止等があったが、全体としては順調な運転であった。総放射光利用運転時間（ユーザータイム）内での故障等による停止時間（down time）は、第1サイクルは約0.5%、第2サイクルは約0.7%であった。

1. 装置運転関係

(1) 運転期間

第1サイクル (4/3 (水) ~4/25 (木))
第2サイクル (5/9 (木) ~7/5 (金))

(2) 運転時間の内訳

第1サイクル

運転時間総計	約 529 時間
①装置の調整及びマシンスタディ等	約 145 時間
②放射光利用運転時間	約 382 時間
③故障等による down time	約 2 時間
④フィーリング変更時間	0 時間
総放射光利用運転時間（ユーザータイム = ②+③ + ④）に対する down time の割合 (*1)	約 0.5%

第2サイクル

運転時間総計	約 1,370 時間
①装置の調整及びマシンスタディ等	約 98 時間
②放射光利用運転時間	約 1,262 時間
③故障等による down time	約 9 時間
④フィーリング変更時間	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 0.7%

(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)

第2サイクル（セベラルバンチ運転）

- 406 × 11/29-bunches + 1 bunch (H)

- 11 bunch train × 29 (C)

- 203 bunches (A)

- 11 bunch train × 29 (C)

- 1/7 filling + 5 bunches (D)

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

- 蓄積電流 8 GeV、~100 mA

(4) 主な down time の原因

- SR RF Cst. Cav3反射異常によるアボート
- 六極電磁石電源インターロック発報によるアボート
- SR RF Dst. Cav5冷却水流量低によるアボート

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 (4/8 (月) ~4/24 (水))
第2サイクル (5/10 (金) ~7/5 (金))

(2) ビームライン利用状況

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

第1サイクル（暫定値）

共同利用研究実験数	205 件
共同利用研究者数	743 名
専用施設利用研究実験数	92 件

専用施設利用研究者数	313 名	・冷却水設備停止（節電対策）
第 2 サイクル（暫定値）		・施設建屋、外構関連小工事等
共同利用研究実験数	703 件	・火災報知器点検（蓄積リング棟）
共同利用研究者数	2,852 名	
専用施設利用研究実験数	264 件	
専用施設利用研究者数	1,080 名	

◎2024 年 4~5 月の運転実績（停止期間）

SPring-8 は 4 月 26 日から 5 月 8 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

- ・電磁石運転前連続通電作業（5/7～）
- ・SR-QA 電源交換作業（通電作業）
- ・RV2 不具合暫定処置（C09）
- ・SSBT1-CT 不具合調査及び対処
- ・L2 空洞冷却水温度変更試験（Cst.）
- ・ダミーロードの確認（Cst.）
- ・VME 水平実装シャーシ ファンユニット交換
- ・BL 制御関連作業
- ・ID25 空芯コイル交換
- ・FE 駆動系検査（A/D ブロック）
- ・FE レーザートラッカー台座設置（アンカー打設）
- ・光学系・輸送チャンネル関係作業
- ・LN2 供給設備・整備計画
- ・CE 緊急遮断弁用圧空配管敷設
- ・測量用基準点設置位置・図書作業（収納部）
- ・その他作業及び定期点検等

(2) ユーティリティ関係

- ・電気設備保守点検及び整備作業
- ・冷却水設備保守定期点検及び整備作業
- ・空調用設備保守点検及び整備作業
- ・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ベイ（4/25）

(4) その他

- ・空調機等間引き運転（節電対策）

◎2024 年 7~8 月の運転予定

SPring-8 は 7 月 8 日から 8 月 1 日までセベラルバシ運転で第 3 サイクルの運転を実施している。

第 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 2 日から 9 月 19 日まで夏期点検調整期間とし、加速器やビームラインに係わる機器の改造・点検作業、電気・冷却設備等の機器の点検作業を行う予定である。

8 月 3 日は施設内全域の計画停電を行い、電気設備の点検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（2024年6月30日現在）

SPring-8

Beamline Name		Public Use Since	~2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Total	
Public Beamlines	BL01B1 XAFS I	1997.10	722	75	87	94	82	86	104	94	86	63	38	1531	
	Technical Journal	1												1	
	BL02B1 Single Crystal Structure Analysis	1997.10	248	36	44	40	30	48	55	60	42	42	20	665	
	BL02B2 Powder Diffraction	1999. 9	813	82	95	80	75	80	114	77	97	74	31	1618	
	BL04B1 High Temperature and High Pressure Research	1997.10	252	16	16	15	17	17	13	12	13	8	8	387	
	BL04B2 High Energy X-ray Diffraction	1999. 9	306	39	43	30	42	41	64	34	56	29	22	706	
	Technical Journal	1						1						2	
	BL08W High Energy Inelastic Scattering	1997.10	195	19	16	16	14	11	18	25	17	4	7	342	
	BL09XU HAXPES I	1997.10	166	18	16	19	28	14	11	14	13	17	15	331	
	BL10XU High Pressure Research	1997.10	406	28	30	28	26	34	33	23	28	18	11	665	
	BL13XU X-ray Diffraction and Scattering I	2001. 9	209	24	35	28	32	34	32	24	25	28	25	496	
	BL14B2 XAFS II	2007. 9	217	61	53	58	67	81	87	76	70	58	31	859	
	Technical Journal	3						1	3					7	
	BL19B2 X-ray Diffraction and Scattering II	2001.11	353	66	63	70	60	58	61	59	36	41	20	887	
	Technical Journal	3	2				2	1	1					9	
	BL20B2 Medical and Imaging I	1999. 9	294	35	26	28	32	29	40	27	34	21	6	572	
	BL20XU Medical and Imaging II	2001. 9	270	45	37	34	31	44	35	44	34	38	9	621	
	BL25SU Soft X-ray Spectroscopy of Solid	1998. 4	385	20	19	25	20	24	30	23	21	20	8	595	
	Technical Journal	2												2	
	BL27SU Soft X-ray Photochemistry	1998. 5	407	25	36	27	26	16	42	18	20	18	10	645	
	BL28B2 White Beam X-ray Diffraction	1999. 9	160	21	19	25	20	16	26	15	17	17	4	340	
	BL35XU Inelastic and Nuclear Resonant Scattering	2001. 9	122	16	15	15	14	8	21	17	14	15	4	261	
	BL37XU Trace Element Analysis	2002.11	194	35	30	29	29	25	34	22	20	22	13	453	
	Technical Journal	1												1	
	BL38B1 Structural Biology III	2000.10	598	70	66	48	38	41	35	30	15	10	8	959	
	BL39XU Magnetic Materials	1997.10	259	19	24	30	20	19	29	22	18	14	11	465	
	BL40B2 SAXS BM	1999. 9	549	55	60	54	56	64	54	69	56	53	25	1095	
	Technical Journal	1	1											3	
	BL40XU High Flux	2000. 4	178	32	42	30	35	52	30	41	31	26	15	512	
	Technical Journal							1						1	
	BL41XU Macromolecular Crystallography I	1997.10	961	74	80	72	70	57	50	42	20	13	4	1443	
	BL43IR Infrared Materials Science	2000. 4	109	17	14	23	10	21	29	21	24	18	8	294	
	BL46XU HAXPES II	2000.11	203	56	50	52	44	55	45	66	46	45	13	675	
	Technical Journal			1	1			1						3	
	BL47XU Micro-CT	1997.10	347	31	30	37	29	33	34	22	30	27	9	629	
	Technical Journal				1									1	
Public Use at Other Beamlines	BL05XU R&D-ID I	2017. 4						3	7	9	9	2	5	2	37
	BL11XU QST Quantum Dynamics I (1999. 3 - 2012. 2)	13												13	
	BL14B1 QST Quantum Dynamics II (1998. 4 - 2012. 2)	48												48	
	BL15XU WEBRAM (2002. 9 - 2012. 2)	35												35	
	BL17SU RIKEN Coherent Soft X-ray Spectroscopy	2005. 9	44	5	2	3	5	8	6	4	4	5		86	
	BL19LXU RIKEN SR Physics	2002. 9	6	1	2	5	7	2	3	8	1	5		40	
	BL22XU JAEA Actinide Science I (2004. 9 - 2012. 2)	6												6	
	BL23SU JAEA Actinide Science II (1998. 6 - 2012. 2)	53							1	1				55	
	BL26B1 RIKEN Structural Genomics I	2009. 4	23	7	19	19	29	30	36	26	24	13	6	232	
	BL26B2 RIKEN Structural Genomics II	2009. 4	15	7	11	9	7	9	7	1	3	4	3	76	
	Technical Journal			1										1	
	BL29XU RIKEN Coherent X-ray Optics	2002. 9	14	1	2	2	3		1			1		24	
	BL32XU RIKEN Targeted Proteins	2010.10	29	17	8	17	18	18	14	8	6	6	1	142	
	BL43LXU Quantum NanoDynamics	2020. 8									2			2	
	BL44B2 RIKEN Materials Science I	1998. 5	14		6	5	2	6	7	4	6	5	2	57	
	BL45XU RIKEN Structural Biology I	1997.10	115	13	20	11	7	16	24	25	20	18	7	276	
	Subtotal			9338	1066	1116	1078	1028	1104	1234	1063	951	801	396	19175

Beamline Name		Public Use Since	~2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Total
Contract Beamlines	BL03XU Advanced Softmaterial	2009.11	59	14	17	23	9	19	20	12	10	13	7	203
	Technical Journal	116	36	33	31	28	28	34	24	27	19			376
	BL07LSU The University-of-Tokyo Outstation Beamline for Materials Science	(2009.11 - 2022.8)	35	12	19	19	16	21	13	15	18	6	5	179
	Technical Journal						1	2						3
	BL08B2 Hyogo BM	2005. 9	21	5	6	11	5	7	12	10	10	6		93
	Technical Journal	26	7	4	4	1	3		1	1	2			49
	BL11XU QST Quantum Dynamics I		125	8	20	20	16	20	14	20	10	10	11	274
	BL12B2 NSRRC BM	2001. 9	211	29	38	34	37	48	33	27	14	6	7	484
	BL12XU NSRRC ID	2003. 2	99	19	18	25	19	28	30	15	16	10	9	288
	BL14B1 QST Quantum Dynamics II		163	19	17	23	22	21	26	27	26	21	12	377
RIKEN Beamlines	BL15XU WEBRAM	(2001. 4 - 2021. 9)	357	49	62	58	54	49	55	40	32	17	8	781
	BL16B2 SUNBEAM BM	(1999. 9 - 2024. 3)	64	4	10	9	6	10	12	21	19	11	2	168
	Technical Journal	49	8	15	21	15	11	8	7	5	11	5	155	
	BL16XU SUNBEAM ID	(1999. 9 - 2024. 3)	47	4	11	9	9	17	20	23	20	17	7	184
	Technical Journal	53	14	21	18	12	8	10	6	4	7	4	157	
	BL22XU JAEA Actinide Science I		114	15	14	15	26	25	18	27	27	20	17	318
	Technical Journal									1			1	
	BL23SU JAEA Actinide Science II		241	19	26	16	24	23	28	19	21	12	1	430
	BL24XU Hyogo ID	1998.10	158	4	5	6	8	2	13	12	12	15	4	239
	Technical Journal	24	3	1	4		1	1	1		1		36	
SACLA	BL28XU Advanced Batteries	2012. 4	12	5	5	6	4	8	11	7	5		8	71
	Technical Journal								1					1
	BL31LEP Laser-Electron Photon II	2013.10	1		3	2	1	3	2		1			13
	BL32B2 Pharmaceutical Industry	(2002. 9 - 2012. 3)	27	1					1		1	1		31
	BL33LEP Laser-Electron Photon	(2000.10 - 2023.3)	59	2	2	3	5	2	1	1				75
	BL33XU TOYOTA	2009. 5	18	4	10	16	6	9	19	17	12	19	8	138
	Technical Journal	16	3	4	1									24
	BL36XU Catalytic Reaction Dynamics for Fuel Cell	(2013. 1 - 2020. 3)	8	6	7	12	15	8	11	4	7	8	2	88
	BL44XU Macromolecular Assemblies	2000.2	462	73	61	67	61	66	65	60	45	32	11	1003
	Subtotal		2281	292	351	374	343	386	404	357	306	224	119	5437

RIKEN Beamlines	BL05XU R&D-ID I		4	1						1	2		2	10	
	BL17SU Coherent Soft X-ray Spectroscopy		98	5	8	5			1	8	4	1	5	2	137
	BL19LXU SR Physics		122	9	5	6	1	4	1	2		2	1	153	
	BL26B1 Structural Genomics I		199	9	8	7	6	5	1	1	2		1	239	
	BL26B2 Structural Genomics II		142	5	9	25	9	5	5		2	2		204	
	BL29XU Coherent X-ray Optics		204	10	15	9	8	4	7	4		3	1	265	
	BL32XU Targeted Proteins		34	11	19	9	11	6	6	5	4	1		106	
	BL38B2 Diagnosis Beamline I		2											2	
	BL43LXU Quantum NanoDynamics		1	1	1				2					5	
	BL44B2 Materials Science I		270	21	17	18	14	10	3	2	2	3	6	366	
	BL45XU Structural Biology I		220	13	13	8	7	2	7	4				274	
	Subtotal		1296	85	95	87	56	37	40	23	13	16	13	1761	

SACLA

Public Beamlines	Beamline Name	Public Use Since	~2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Total
	BL1 SXFEL	2016. 3					7	6	9	10	5	9	2	48
	BL2/BL3 XFEL2/XFEL1	2012. 3	42	37	48	42	34	51	62	57	57	46	22	498

Hardware / Software R & D	626	33	46	53	49	35	26	15	20	12	4	919
---------------------------	-----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	-----

NET Sum Total	11466	1233	1324	1318	1197	1286	1383	1206	1073	868	412	22766
Technical Journal	270	67	74	71	54	49	53	34	38	35	7	752

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

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

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

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

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

このデータは論文発表等登録データベース（<https://user.spring8.or.jp/uisearch/publication2/>）に 2024 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（2024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	1532	66	89	1687
	BL02B1	Single Crystal Structure Analysis	1997.10	665	14	32	711
	BL02B2	Powder Diffraction	1999. 9	1618	41	86	1745
	BL04B1	High Temperature and High Pressure Research	1997.10	387	7	50	444
	BL04B2	High Energy X-ray Diffraction	1999. 9	708	13	62	783
	BL08W	High Energy Inelastic Scattering	1997.10	342	10	48	400
	BL09XU	HAXPES I	1997.10	331	15	37	383
	BL10XU	High Pressure Research	1997.10	665	22	61	748
	BL13XU	X-ray Diffraction and Scattering I	2001. 9	496	19	40	555
	BL14B2	XAFS II	2007. 9	866	11	39	916
	BL19B2	X-ray Diffraction and Scattering II	2001.11	896	49	94	1039
	BL20B2	Medical and Imaging I	1999. 9	572	91	91	754
	BL20XU	Medical and Imaging II	2001. 9	621	106	162	889
	BL25SU	Soft X-ray Spectroscopy of Solid	1998. 4	597	15	61	673
	BL27SU	Soft X-ray Photochemistry	1998. 5	645	21	39	705
	BL28B2	White Beam X-ray Diffraction	1999. 9	340	17	25	382
	BL35XU	Inelastic and Nuclear Resonant Scattering	2001. 9	261	5	14	280
	BL37XU	Trace Element Analysis	2002.11	454	24	52	530
	BL38B1	Structural Biology III	2000.10	959	11	66	1036
	BL39XU	Magnetic Materials	1997.10	465	17	80	562
	BL40B2	SAXS BM	1999. 9	1098	15	122	1235
	BL40XU	High Flux	2000. 4	513	25	73	611
	BL41XU	Macromolecular Crystallography I	1997.10	1443	4	103	1550
	BL43IR	Infrared Materials Science	2000. 4	295	15	64	374
	BL46XU	HAXPES II	2000.11	678	21	46	745
	BL47XU	Micro-CT	1997.10	630	93	138	861
Public Use at Other Beamlines	BL05XU	R&D-ID I	2017. 4	37			37
	BL11XU	QST Quantum Dynamics I (1999. 3 - 2012. 2)		13	2	2	17
	BL14B1	QST Quantum Dynamics II (1998. 4 - 2012. 2)		48	1	11	60
	BL15XU	WEBRAM (2002. 9 - 2012. 2)		35	19	7	61
	BL17SU	RIKEN Coherent Soft X-ray Spectroscopy	2005. 9	86	1	29	116
	BL19LXU	RIKEN SR Physics	2002. 9	40		5	45
	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	232		9	241
	BL26B2	RIKEN Structural Genomics II	2009. 4	77		11	88
	BL29XU	RIKEN Coherent X-ray Optics	2002. 9	24		1	25
	BL32XU	RIKEN Targeted Proteins	2010.10	142		5	147
	BL43LXU	Quantum NanoDynamics	2020. 8	2			2
	BL44B2	RIKEN Materials Science I	1998. 5	57		3	60
	BL45XU	RIKEN Structural Biology I	1997.10	276	5	20	301
	Subtotal			19207	779	1892	21878

	Beamline Name	Public Use Since	Refereed Papers	Proceedings	Other Publications	Total
Contract Beamlines	BL03XU	Advanced Softmaterial	2009.11	579	18	597
	BL07LSU	The University-of-Tokyo Outstation Beamline for Materials Science	(2009.11 - 2022.8)	182	12	194
	BL08B2	Hyogo BM	2005. 9	142		142
	BL11XU	QST Quantum Dynamics I		274	8	44
	BL12B2	NSRRC BM	2001. 9	484	1	487
	BL12XU	NSRRC ID	2003. 2	288	7	6
	BL14B1	QST Quantum Dynamics II		377	20	88
	BL15XU	WEBRAM	(2001. 4 - 2021. 9)	781	14	60
	BL16B2	SUNBEAM BM	(1999. 9 - 2024. 3)	323	12	79
	BL16XU	SUNBEAM ID	(1999. 9 - 2024. 3)	341	8	64
	BL22XU	JAEA Actinide Science I		319	4	47
	BL23SU	JAEA Actinide Science II		430	45	110
	BL24XU	Hyogo ID	1998.10	275	19	64
	BL28XU	Advanced Batteries	2012. 4	72		1
	BL31LEP	Laser-Electron Photon II	2013.10	13		13
	BL32B2	Pharmaceutical Industry	(2002. 9 - 2012. 3)	31		3
	BL33LEP	Laser-Electron Photon	(2000.10 - 2023.3)	75	23	3
	BL33XU	TOYOTA	2009. 5	162	5	49
	BL36XU	Catalytic Reaction Dynamics for Fuel Cell	(2013. 1 - 2020. 3)	88		6
	BL44XU	Macromolecular Assemblies	2000. 2	1003		47
Subtotal			6239	166	703	7108

RIKEN Beamlines	BL05XU	R&D-ID I		10	6	16
	BL17SU	Coherent Soft X-ray Spectroscopy		137	4	154
	BL19LXU	SR Physics		153	8	27
	BL26B1	Structural Genomics I		239	2	19
	BL26B2	Structural Genomics II		204	1	13
	BL29XU	Coherent X-ray Optics		265	14	38
	BL32XU	Targeted Proteins		106		4
	BL38B2	Diagnosis Beamline I		2	6	8
	BL43LXU	Quantum NanoDynamics		5		5
	BL44B2	Materials Science I		366	2	16
	BL45XU	Structural Biology I		274	5	45
Subtotal			1761	48	175	1984

SACLA

Public Beamlines	Beamline Name	Public Use Since	Refereed Papers	Proceedings	Other Publications	Total
BL1	SXFEL	2016. 3	48			48
BL2/BL3	XFEL2/XFEL1	2012. 3	498	4	18	520
Hardware / Software R & D						
		919	554	475		1948
NET Sum Total						
		23518	1377	2516		27411

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 利用研究結果集、公開技術報告書

Proceedings : 査読なしのプロシーディング

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

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

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

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

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

最近 SPring-8 もしくは SACLA から発表された成果リスト

公益財団法人高輝度光科学研究センター
利用推進部

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

http://www.spring8.or.jp/ja/science/publication_database/

このデータベースに登録された原著論文の内、2024 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、以下の URL で検索することによりその課題の情報を閲覧することができます。

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

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

SPring-8 研究成果登録データベースに 2024 年 4 月～6 月に登録された論文が掲載された主な雑誌と掲載論文数

掲載雑誌	登録論文数	掲載雑誌	登録論文数
Nature Communications	11	Bulletin of the Chemical Society of Japan	5
Journal of the American Chemical Society	10	Biochemical and Biophysical Research Communications	4
Inorganic Chemistry	9	Chemical Science	4
Chemistry of Materials	8	Japanese Journal of Applied Physics	4
Journal of Synchrotron Radiation	6	The Journal of Biological Chemistry	4
Physical Review B	6	The Journal of Physical Chemistry C	4
Scientific Reports	6	Science Advances	4

他全 202 誌、計 340 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

Inorganic Chemistry

研究成果番号	著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
46797	Shuto Asano	62 (2023) 20271-20278	2021B1499	BL10XU	丹羽 健	High-Pressure Synthesis of a High-Pressure Phase of MnN Having NiAs-Type Structure
			2022A1553	BL10XU	丹羽 健	
			2022B1381	BL10XU	丹羽 健	
			2023A1487	BL10XU	丹羽 健	
46825	Supaphorn Thammakan	63 (2024) 6239-6247	2020A1551	BL02B1	小島 達弘	Postsynthetic Installation of Lanthanide Cubane Clusters in a 3D Hydrogen-Bonded Framework of $\text{Ir}^{\text{III}}\text{Zn}^{\text{II}}_4$ Multicarboxylates
			2021B1354	BL02B1	小島 達弘	
			2021B1475	BL02B1	吉成 信人	
			2022A1573	BL02B1	吉成 信人	
			2022B1806	BL02B2	吉成 信人	
			2022B1659	BL02B1	吉成 信人	
46830	Koh Sugamata	63 (2024) 2454-2459	2019A1057	BL02B1	笹森 貴裕	Alkoxy-Functionalized Hydroxamate/Zinc Metal–Organic Frameworks and the Effects of Substituents and Acid Addition on Their Structures
			2019A1677	BL02B1	鈴木 文陽	
			2019B1129	BL02B1	笹森 貴裕	
			2019B1774	BL02B1	鈴木 文陽	
			2020A1650	BL02B1	薄葉 純一	
			2020A1656	BL02B1	西野 龍平	
			2021A1592	BL02B1	西野 龍平	
			2020A0557	BL02B1	菅又 功	
			2020A0834	BL02B1	西野 龍平	
			2021A1578	BL02B1	早川 雅大	
			2021B1132	BL02B1	森迫 祥吾	
			2021B1435	BL02B1	村田 理尚	
			2021B1833	BL02B1	成田 皓樹	
			2021B1798	BL02B1	早川 雅大	
			2022A1200	BL02B1	箕浦 真生	
			2022A1354	BL02B1	村田 理尚	
			2022A1584	BL02B1	森迫 祥吾	
			2022B1626	BL02B1	村田 理尚	
			2022A1705	BL02B1	成田 皓樹	
			2023A1539	BL02B1	森 達哉	
46841	Takafumi Yamamoto	63 (2024) 4482-4486	2022A1191	BL02B2	山本 隆文	Synthesis and Structure of Vacancy-Ordered Perovskite $\text{Ba}_6\text{Ta}_2\text{Na}_2\text{X}_2\text{O}_{17}$ ($\text{X} = \text{P}, \text{V}$): Significance of Structural Model Selection on Discovered Compounds
46918	Zhiyan Zhang	63 (2024) 2553-2561	2022A4126	BL12B2	久保園 芳博	Pressure Dependence of the Structural and Superconducting Properties of the Bi-Based Superconductor $\text{Bi}_2\text{Pd}_3\text{Se}_2$
			2022B4126	BL12B2	久保園 芳博	
			2023A4135	BL12B2	久保園 芳博	
46919	Ritsuko Eguchi	63 (2024) 947-953	2021A1385	BL13XU	江口 律子	Observation of the Superstructure in $\text{Fe}_{5-x}\text{GeTe}_2$ by X-ray Fluorescence Holography
			2021B1631	BL13XU	江口 律子	
			2022A4126	BL12B2	久保園 芳博	
			2022B1350	BL47XU	久保園 芳博	
46959	Takeshi Usuki	63 (2024) 7640-7651	2018B1339	BL04B2	Bychkov Evgeny	Supercritical Gallium Trichloride in Oxidative Metal Recycling: Ga_2Cl_6 Dimers vs GaCl_3 Monomers and Rheological Behavior
46999	Yoshihiro Koizumi	61 (2022) 9841-9848	2020A1229	BL04B2	Bychkov Evgeny	Ligand-Protecting Strategy for the Controlled Construction of Multinuclear Copper Cores within a Ring-Shaped Polyoxometalate
47135	Fumito Fujishiro	63 (2024) 5865-5871	2021B1018	BL02B1	小島 達弘	Variable Photoluminescence Intensity Ratio with the Excitation Wavelength in Eu^{3+} -Doped Perovskite-Type Alkaline Earth Zirconates—Possibility of a Unique Visualization of Ultraviolet Light
			2021B1247	BL01B1	大石 昌嗣	

Journal of the American Chemical Society-1

46807	Xingyu Qi	146 (2024) 9191-9204	2023A1843	BL14B2	小畠 圭亮	Potential–Rate Correlations of Supported Palladium-Based Catalysts for Aqueous Formic Acid Dehydrogenation
46852	Nachi Ueno	146 (2024) 11235-11244	2022B0569	BL02B2	藤井 孝太郎	High Conductivity and Diffusion Mechanism of Oxide Ions in Triple Fluorite-Like Layers of Oxyhalides
			2023A1684	BL02B2	藤井 孝太郎	
46899	Ben Liu	146 (2024) 9984-10000	2023B1740	BL14B2	Liu Ben	Highly Efficient Iridium–Iron–Molybdenum Catalysts Condensed on Boron Nitride for Biomass-Derived Diols’ Hydrogenolysis to Secondary Monoalcohols
			2023A1630	BL14B2	藤井 亮太郎	
			2021B1097	BL01B1	數下 瑞帆	

Journal of the American Chemical Society-2

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
46970	Makoto Iihoshi	145 (2023) 10756-10762	2020A1137	BL02B2	後藤 真人	Cascade Charge Transitions of Unusually High and Mixed Valence Fe ³⁺⁵⁺ in the A-Site Layer-Ordered Double Perovskite SmBaFe ₂ O ₆
47004	Hidenori Miki	146 (2024) 3844-3853	2021B7431	BL07LSU	山本 健太郎	Double-Layered Perovskite Oxyfluoride Cathodes with High Capacity Involving O-O Bond Formation for Fluoride-Ion Batteries
			2020A7487	BL07LSU	倉橋 直也	
			2018A1276	BL27SU	山本 健太郎	
			2018B1507	BL02B2	山本 健太郎	
			2019A1817	BL14B2	山本 健太郎	
			2019B1512	BL02B2	松永 利之	
			2021A1029	BL27SU	内本 喜晴	
			2021B1040	BL27SU	内本 喜晴	
			2021B1878	BL14B2	山本 健太郎	
			2022A1034	BL27SU	内本 喜晴	
			2022A1035	BL27SU	内本 喜晴	
47047	Luhong Wang	146 (2024) 7506-7514	2023B1182 2023B1273	BL10XU	Liu Arthur Haozhe Liu Arthur Haozhe	Structure Responsible for the Superconducting State in La ₃ Ni ₂ O ₇ at High-Pressure and Low-Temperature Conditions
47159	Nattapol Ma	144 (2022) 18619-18628	2022A1161	BL04B2	堀毛 悟史	Eutectic CsHSO ₄ -Coordination Polymer Glasses with Superprotic Conductivity
47172	Akira Yoko	146 (2024) 16324-16331	2022A1029	BL01B1	西堀 麻衣子	Fusion Growth and Extraordinary Distortion of Ultrasmall Metal Oxide Nanoparticles
			2022B1061	BL02B2	西堀 麻衣子	
			2021B1783	BL02B2	Zheng Yanyan	
			2022B1946	BL02B2	Zheng Yanyan	
			2022B1683	BL02B2	笠井 秀隆	
			2023A1757	BL14B2	横 哲	
			2022B0513	BL13XU	笠井 秀隆	
			2021B1859	BL14B2	西堀 麻衣子	
			2020A1667	BL27SU	二宮 翔	
			2021B1696	BL27SU	二宮 翔	
			2022A1028	BL27SU	西堀 麻衣子	
			2022B1041	BL27SU	西堀 麻衣子	
			2023A1033	BL39XU	西堀 麻衣子	
47197	Yoshihiro Koizumi	146 (2024) 14610-14619	2023B1651	BL01B1	鈴木 康介	Small Copper Nanoclusters Synthesized through Solid-State Reduction inside a Ring-Shaped Polyoxometalate Nanoreactor
			2023A1915	BL01B1	吉川 聰一	
			2023A1732	BL01B1	鈴木 康介	
			2023A1731	BL02B1	鈴木 康介	
			2022B1860	BL01B1	鈴木 康介	
			2022B1684	BL01B1	吉川 聰一	
			2022B0593	BL01B1	吉川 聰一	

Nature Communications

46788	Xiaojiao Liu	12 (2021) 3871	2020A1160	BL40XU	Bhattacharya Biswajit	High-pressure Reversibility in a Plastically Flexible Coordination Polymer Crystal
46854	Kei Saito	14 (2023) 7466	2021A1599	BL02B2	安井 雄太	High Proton Conductivity within the 'Norby Gap' by Stabilizing a Perovskite with Disordered Intrinsic Oxygen Vacancies
			2021B1826	BL02B2	矢口 寛	
			2022A1270	BL02B2	藤井 孝太郎	
46956	Kenichi Endo	14 (2023) 4241	2021A1319	BL01B1	松本 憲志	Location-selective Immobilisation of Single-atom Catalysts on the Surface or within the Interior of Ionic Nanocrystals using Coordination Chemistry
			2021A1380	BL01B1	高畠 遼	
			2021A1506	BL01B1	高畠 遼	
			2021B1708	BL02B2	佐藤 良太	
46958	Taku Omura	15 (2024) 568	2021A7222	BL03XU	岩田 忠久	Microbial Decomposition of Biodegradable Plastics on the Deep-sea Floor
			2020A7223	BL03XU	岩田 忠久	
			2019B7270	BL03XU	岩田 忠久	
46998	Gang Wang	14 (2023) 5861	2020A1695	BL14B2	井 元	Accelerated Discovery of Multi-elemental Reverse Water-gas Shift Catalysts using Extrapolative Machine Learning Approach
			2022A1736	BL14B2	井 元	
47001	Kyle Barlow	15 (2024) 4043	2021B8001	BL3	Johansson Johan	Tracking Nuclear Motion in Single-molecule Magnets using Femtosecond X-ray Absorption Spectroscopy
47016	Takenori Shimamura	15 (2024) 665	2021A1612	BL25SU	島村 勇徳	Ultracompact Mirror Device for Forming 20-nm Achromatic Soft-X-ray Focus toward Multimodal and Multicolor Nanoanalyses
			2021B1836	BL25SU	島村 勇徳	
			2020A1694	BL25SU	島村 勇徳	
47029	Tomoko Fujino	15 (2024) 3028	2022A0304	BL02B1	原 武史	Orbital Hybridization of Donor and Acceptor to Enhance the Conductivity of Mixed-stack Complexes
47157	Nattapol Ma	13 (2022) 4023	2021B1377	BL01B1	堀毛 悟史	Exploration of Glassy State in Prussian Blue Analogues
			2020A1383	BL04B2	堀毛 悟史	

Chemistry of Materials

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
46917	Naohisa Happo	36 (2024) 4135-4143	2019A4131	BL12B2	久保園 芳博	Nanophase Separation in $K_{1-x}Ca_xC_8$ Revealed by X-ray Fluorescence Holography and Extended X-ray Absorption Fine Structure
			2022A4126	BL12B2	久保園 芳博	
			2014B1189	BL13XU	八方 直久	
			2015A0116	BL13XU	林 好一	
46920	Mitsuki Ikeda	35 (2023) 4338-4346	2021B1426	BL13XU	久保園 芳博	Pressure Dependence of Superconductivity in Alkaline Earth Metal-Doped FeSe: toward Completion of the Phase Diagram of Superconducting Transition Temperature Versus FeSe Layer Distance
			2022A4126	BL12B2	久保園 芳博	
			2022A1388	BL47XU	久保園 芳博	
46921	Tetsuhiro Katsumata	36 (2024) 3697-3704	2017B3636	BL14B1	勝又 哲裕	Existence of Local Polar Domains in Perovskite Oxyfluoride, BaFeO ₂ F
			2021B3742	BL22XU	勝又 哲裕	
			2022B1586	BL02B2	勝又 哲裕	
			2022B1812	BL02B2	稻熊 宜之	
			2023A1546	BL02B2	稻熊 宜之	
47005	Zulai Cao	36 (2024) 1928-1940	2021B1034	BL27SU	山本 健太郎	Revealing the Unusual Mechanism of Mixed Cationic and Anionic Redox in Oxyfluorosulfide Cathode for All-Solid-State Fluoride-Ion Batteries
			2021B1033	BL27SU	山本 健太郎	
			2022A7442	BL07LSU	山本 健太郎	
			2020A1509	BL14B2	松永 利之	
			2021A1645	BL14B2	山本 健太郎	
			2021B1374	BL27SU	山本 健太郎	
			2021B1508	BL02B2	松永 利之	
			2021B1540	BL02B2	松永 利之	
			2021B1878	BL14B2	山本 健太郎	
			2022A1034	BL27SU	内本 喜晴	
			2022A1035	BL27SU	内本 喜晴	
			2023A1656	BL02B2	内本 喜晴	
			2023A1920	BL14B2	内本 喜晴	
			2020A7487	BL27SU	倉橋 直也	
			2021B7431	BL27SU	山本 健太郎	
47038	Chengchao Zhong	36 (2024) 4495-4501	2022B1847	BL02B2	鐘 承超	Decompression-Induced In-Plane Lone Pair Electrons in BiSF Synthesized under High Pressure
47136	Masatsugu Oishi	36 (2024) 4849-4860	2019A1141	BL04B2	大石 昌嗣	Reversible Tetrahedral-site Migration Inducing an Additional Charge Compensation Reaction in Li-rich Layered Oxide 0.4Li ₂ MnO ₃ -0.6LiNi _{0.5} Mn _{0.5} O ₂
			2019B1148	BL04B2	大石 昌嗣	
			2021A1278	BL04B2	大石 昌嗣	
47146	Jie Chen	36 (2024) 5587-5595	2023A1496	BL02B2	Belik Alexei	New Structural Distortions in Osmate Perovskite Na _{1-x} K _x OsO ₃ Synthesized under High Pressure
			2023A2361	BL02B2	山浦 一成	
			2023B1676	BL02B2	山浦 一成	
47202	Yuudai Iwai	36 (2024) 5446-5455	2022B1132	BL10XU	大谷 亮	Mechanical Properties of Modulative Undulating Layers in Two-Dimensional Metal-Organic Frameworks

Physical Review B

46772	Daisuke Takegami	109 (2024) 155108	2023B4255	BL12XU	武上 大介	Bulk Electronic Structure of AV ₃ Sb ₅ (A = K, Cs) Studied by Hard X-ray Photoemission Spectroscopy: Possibility of Bond Order without Charge Disproportionation
46839	Tetsujiro Eto	109 (2024) 014101	2021A1079	BL10XU	江藤 徹二郎	Pressure-induced Structural Phase Transition in the Ferromagnetic Heusler Alloy Ni ₂ MnGa
46910	Ryo Nakamura	109 (2024) 165148	2023A4250	BL12XU	武上 大介	Interplay between Strongly Localized Eu 4f and Weakly Localized Nb 4d Electrons in Eu ₃ Nb ₅ O ₁₅
			2022B4256	BL12XU	武上 大介	
46996	Yongheng Li	109 (2024) 174302	2021B1551	BL35XU	Wang Xueyun	Multiphonon Interaction and Thermal Conductivity in Half-Heusler LuNiBi
			2023B1575	BL02B2	Pan Zhao	
47008	Dabiao Lu	109 (2024) 174417	2023B1976	BL02B2	Pan Zhao	Giant Spin-induced Electric Polarization in Absence of Orbital Order in (Bi _{0.5} Ag _{0.5})Mn ₇ O ₁₂
			2023A4267	BL12XU	武上 大介	
47180	Daisuke Takegami	109 (2024) 235138				Negative Charge-transfer Energy in SrFeO ₃ Revisited with Hard X-ray Photoemission Spectroscopy

Scientific Reports-1

46861	Kochi Sato	13 (2023) 2183	2006B1388	BL41XU	清水 伸隆	Prediction of Hydrophilic and Hydrophobic Hydration Structure of Protein by Neural Network Optimized using Experimental Data
			2006A1414	BL41XU	清水 伸隆	
			2003B0979	BL38B1	中迫 雅由	
			2001B0049	BL40B2	中迫 雅由	
			2001A0349	BL40B2	中迫 雅由	
			2000B0097	BL41XU	中迫 雅由	
			1999B0155	BL41XU	豊島 近	
			1999B0056	BL45XU	中迫 雅由	
			1999A0240	BL41XU	中迫 雅由	
			1999A0175	BL41XU	豊島 近	

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
46862	Mao Oide	11 (2021) 2827	2002B0153	BL40B2	中迫 雅由	Red Light-induced Structure Changes in Phytochrome A from <i>Pisum sativum</i>
			2003A0107	BL40B2	中迫 雅由	
			2003B0142	BL40B2	中迫 雅由	
46987	Yeon Lee	13 (2023) 22326	2021A6674	BL44XU	Kim Hyoun Sook	Structural Insights into N-terminal Methionine Cleavage by the Human Mitochondrial Methionine Aminopeptidase, MetAP1D
			2021B6674	BL44XU	Kim Hyoun Sook	
			2022A6774	BL44XU	Kim Hyoun Sook	
47041	Taiki Wakabayashi	14 (2024) 11165	2021B2541	EM01CT	中迫 雅由	CryoEM-sampling of Metastable Conformations Appearing in Cofactor-ligand Association and Catalysis of Glutamate Dehydrogenase
			2022B2523	BL38B1	中迫 雅由	
			2022B2523	EM01CT	中迫 雅由	
47123	Ben Heuser	14 (2024) 12239	2022A8048	BL3	Stevenson Michael	Release Dynamics of Nanodiamonds Created by Laser-driven Shock-compression of Polyethylene Terephthalate
47183	Osamu Takakuwa	14 (2024) 14445	2021B1361	BL20XU	高桑 健	In situ 3D Crystallographic Characterization of Deformation-induced Martensitic Transformation in a Metastable Fe-Cr-Ni Austenitic Alloy by X-ray Microtomography
			2022B1117	BL20XU	高桑 健	

Bulletin of the Chemical Society of Japan

46829	Koh Sugamata	97 (2024) uoae017	2021A1592	BL02B1	西野 龍平	Synthesis, Structural Analysis, and Gas-adsorption Properties of a Dibenzothiophene-based Hydroxamate/Zinc Metal-organic Framework
			2021A1578	BL02B1	早川 雅大	
			2021B1132	BL02B1	森迫 祥吾	
			2021B1435	BL02B1	村田 理尚	
			2021B1833	BL02B1	成田 皓樹	
			2021B1798	BL02B1	早川 雅大	
			2022A1200	BL02B1	箕浦 真生	
			2022A1354	BL02B1	村田 理尚	
			2022A1584	BL02B1	森迫 祥吾	
			2022B1626	BL02B1	村田 理尚	
			2022A1705	BL02B1	成田 皓樹	
			2023A1771	BL02B1	菅又 功	
			2023A1925	BL02B1	菅又 功	
			2023B1675	BL02B1	菅又 功	
			2023B1878	BL02B1	菅又 功	
46896	Wataru Yoshimune	97 (2024) uoae046	2017A7032	BL33XU	長井 康貴	Multiscale Characterization of Polymer Electrolyte Fuel Cells Elucidated by Quantum Beam Analysis
			2017B7032	BL33XU	長井 康貴	
			2018A7032	BL33XU	長井 康貴	
			2018B7032	BL33XU	長井 康貴	
			2019A7032	BL33XU	山口 聰	
			2019B7032	BL33XU	山口 聰	
			2020A7032	BL33XU	山口 聰	
			2021A7032	BL33XU	山口 聰	
			2021B7032	BL33XU	山口 聰	
			2022A7032	BL33XU	山口 聰	
			2022B7032	BL33XU	山口 聰	
			2023A7032	BL33XU	山口 聰	
			2023B7032	BL33XU	山口 聰	
46971	Masato Goto	96 (2023) 1269-1273	2020A1671	BL02B2	Koedtrud Anucha	Structural and Magnetic Properties of the B-Site-Ordered Double Perovskites Ln_2NiTiO_6 (Ln = La, Pr, and Nd)
46972	Masato Goto	95 (2022) 1011-1015	2021A1146	BL02B2	後藤 真人	Charge Transfer between Fe and Ti Induced by Ln Substitution and Temperature in the B-Site-Disordered Perovskites $Ln_2(FeTi)O_6$ (Ln = La, Pr, and Nd)
			2020A1671	BL02B2	Koedtrud Anucha	
			2021A1146	BL02B2	後藤 真人	
47128	Mao Yamaguchi	97 (2024) uoae004	2020A1137	BL02B2	後藤 真人	An Expanded Hydrogen-bonded Organic Framework Formed by a Tetrakis(terphenyl)ethene Derivative
2021A1080	BL40XU	久木 一朗	31 (2024) 343-354	2021B2090	河口 沙織	Submillisecond <i>in situ</i> X-ray Diffraction Measurement System with Changing Temperature and Pressure using Diamond Anvil Cells at BL10XU/SPring-8
2022B1151	BL40XU	久木 一朗				
2021B1614	BL10XU	河口 沙織				
2019B2095	BL10XU	河口 沙織				
2020A2136	BL10XU	河口 沙織				
2020A2051	BL10XU	河口 沙織				
2021A2080	BL10XU	河口 沙織				
2021B2092	BL10XU	河口 沙織				
2022A2071	BL10XU	河口 沙織				
2022B2119	BL10XU	河口 沙織				

Journal of Synchrotron Radiation-1

46846	Saori Kawaguchi-Imada	31 (2024) 343-354	2019B1614	BL10XU	河口 沙織	Submillisecond <i>in situ</i> X-ray Diffraction Measurement System with Changing Temperature and Pressure using Diamond Anvil Cells at BL10XU/SPring-8
			2019B2095	BL10XU	河口 沙織	
			2020A2136	BL10XU	河口 沙織	
			2020A2051	BL10XU	河口 沙織	
			2021A2080	BL10XU	河口 沙織	
			2021B2092	BL10XU	河口 沙織	
			2022A2071	BL10XU	河口 沙織	
			2022B2119	BL10XU	河口 沙織	

Journal of Synchrotron Radiation-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
46859	Syouyo Yoshida	31 (2024) 113-128	2013B8049	BL3	中迫 雅由	Protocol using Similarity Score and Improved Shrink-wrap Algorithm for Better Convergence of Phase-retrieval Calculation in X-ray Diffraction Imaging
			2014A8033	BL3	中迫 雅由	
			2014B8052	BL3	中迫 雅由	
			2015A8051	BL3	中迫 雅由	
			2016A8048	BL3	中迫 雅由	
			2016B8064	BL3	中迫 雅由	
			2020A8004	BL2	中迫 雅由	
			2022B8012	BL2	中迫 雅由	
46860	Yuki Takayama	31 (2024) 95-112	2013B8049	BL3	中迫 雅由	Similarity Score for Screening Phase-retrieved Maps in X-ray Diffraction Imaging – Characterization in Reciprocal Space
			2014A8033	BL3	中迫 雅由	
			2016B3201	BL24XU	高山 裕貴	
			2018A3201	BL24XU	高山 裕貴	
46864	Mao Oide	25 (2018) 1379-1388	2002B0153	BL40B2	中迫 雅由	Classification of <i>ab initio</i> Models of Proteins Restored from Small-angle X-ray Scattering
			2003A0106	BL40B2	中迫 雅由	
			2003A0107	BL40B2	中迫 雅由	
			2003B0141	BL40B2	中迫 雅由	
			2003B0142	BL40B2	中迫 雅由	
			2005B0380	BL40B2	加藤 晃一	
			2002B0152	BL40B2	中迫 雅由	
			理研	BL45XU		
47170	Ayumi Ito	31 (2024) 810-820	2023A3740	BL22XU	伊藤 あゆみ	<i>In situ</i> XAFS-XRD Study of the Zr-Y ₂ O ₃ Interaction at Extra-high Temperatures
			2023B3740	BL22XU	伊藤 あゆみ	

Biochemical and Biophysical Research Communications

46774	Tomoya Kawakami	643 (2023) 105-110	2021B2553	BL45XU	寺本 岳大	Crystal Structure of Adenosine 5'-phosphosulfate Kinase Isolated from <i>Archaeoglobus fulgidus</i>
46835	Shigeru Shimamoto	569 (2021) 66-71	2020A6503	BL44XU	有竹 浩介	Substrate-induced Product-release Mechanism of Lipocalin-type Prostaglandin D Synthase
46929	Tetsuya Masuda	703 (2024) 149601	2014A1063	BL26B1	樹田 哲哉	Subatomic Structure of Orthorhombic Thaumatin at 0.89 Å Reveals that Highly Flexible Conformations are Crucial for Thaumatin Sweetness
			2014B1181	BL26B1	樹田 哲哉	
			2014B1339	BL26B1	樹田 哲哉	
			2014B2020	BL26B2	樹田 哲哉	
			2015A1037	BL26B1	樹田 哲哉	
			2016A2548	BL26B1	樹田 哲哉	
			2016A2552	BL38B1	樹田 哲哉	
			2017A2511	BL26B1	樹田 哲哉	
			2017B2526	BL38B1	樹田 哲哉	
			2018A2546	BL26B1	樹田 哲哉	
			2019A2529	BL26B1	樹田 哲哉	
			2019A2532	BL26B1	樹田 哲哉	
			2020A2537	BL26B1	樹田 哲哉	
47124	Tamaki Izume	528 (2020) 383-388	2016A2527	BL32XU	石谷 隆一郎	Crystal Structure of Human Endothelin ET _B Receptor in Complex with Sarafotoxin S6b

Chemical Science-1

46789	Biswajit Bhattacharya	14 (2023) 3441-3450	2021A1293	BL40XU	Bhattacharya Biswajit	An Atomistic Mechanism for Elasto-plastic Bending in Molecular Crystals
46828	Koh Sugamata	15 (2024) 7072-7078	2021A1592	BL02B1	西野 龍平	A Tin Analogue of Propadiene with Cumulated C=Sn Double Bonds
			2021A1578	BL02B1	早川 雅大	
			2021B1132	BL02B1	森迫 祥吾	
			2021B1435	BL02B1	村田 理尚	
			2021B1833	BL02B1	成田 皓樹	
			2021B1798	BL02B1	早川 雅大	
			2022A1200	BL02B1	箕浦 真生	
			2022A1354	BL02B1	村田 理尚	
			2022A1584	BL02B1	森迫 祥吾	
			2022B1626	BL02B1	村田 理尚	
			2022B1149	BL40XU	畠山 琢次	
			2022A1705	BL02B1	成田 皓樹	
			2023A1771	BL02B1	菅又 功	
			2023A1925	BL02B1	菅又 功	
			2023B1675	BL02B1	菅又 功	
			2023B1878	BL02B1	菅又 功	

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
46895	Xin Zhou	15 (2024) 7560-7567	2023A1706	BL13XU	北川 宏	First Synthesis of RuSn Solid-solution Alloy Nanoparticles and Their Enhanced Hydrogen Evolution Reaction Activity
			2023B1604	BL13XU	北川 宏	
			2021A1133	BL01B1	北川 宏	
			2021B1205	BL01B1	北川 宏	
			2022B1822	BL46XU	北川 宏	
47198	Haoran Sun	15 (2024) 9281-9286	2023B1842	BL02B1	鈴木 康介	Self-assembled Molecular Hybrids Comprising Lacunary Polyoxometalates and Multidentate Imidazole Ligands
			2022B1605	BL02B1	鈴木 康介	
			2022B1859	BL02B1	鈴木 康介	

Japanese Journal of Applied Physics

46771	Toshihide Sumi	62 (2023) SB8001	2020A8135	BL1	松田 巍	Element-selective Magnetization States in a Gd ₂₃ Fe ₆₇ Co ₁₀ Alloy, Probed by Soft X-ray Resonant Magneto-optical Kerr Effect
			2017B8074	BL1	小嗣 真人	
			2018B8040	BL1	小嗣 真人	
			2019A8067	BL1	EI Moussaoui Souliman	
			2019B8036	BL1	EI Moussaoui Souliman	
			2021B8011	BL1	山本 航平	
46803	Yuki Takayama	63 (2024) 048002	2018B3286	BL24XU	今井 英人	Redox-induced Changes in Nanostructures and Electron Densities of Connected Pt-Fe Catalysts for Fuel Cells Revealed via <i>in situ</i> Coherent X-ray Diffraction
46901	Tomoya Tsutsumi	63 (2024) 04SP66	2022A1591	BL09XU	野平 博司	Effects of Plasma Oxidation and Plasma Nitridation on Chemical Bonding State of AlScN Evaluated by AR-HAXPES
			2022A1617	BL09XU	野平 博司	
			2022B1918	BL09XU	野平 博司	
			2022B0587	BL09XU	野平 博司	
			2023A1573	BL09XU	野平 博司	
			2023A1649	BL09XU	桐原 芳治	
			2023A1919	BL09XU	野平 博司	
			2023B1910	BL09XU	野平 博司	
			2023B1932	BL09XU	桐原 芳治	
47043	Gen Nakada	63 (2024) 05SP14	2021A1482	BL47XU	野平 博司	Estimation of the Band Alignment of Metal/AlScN Interfaces by Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy
			2022A1591	BL09XU	野平 博司	
			2022A1617	BL09XU	野平 博司	
			2022A1617	BL09XU	野平 博司	
			2022B1918	BL09XU	野平 博司	
			2023A1573	BL09XU	野平 博司	
			2023A1649	BL09XU	桐原 芳治	

The Journal of Physical Chemistry C

46798	Kazushige Ueda	127 (2023) 15641-15647	2021A1672	BL14B2	植田 和茂	Site-Selective Eu ³⁺ Doping and Enhanced Luminescence from Eu ³⁺ at B Sites in Perovskite-Type Strontium Zirconate and Hafnate
46974	I-Ching Lin	127 (2023) 17802-17808	2021A1146	BL02B2	後藤 真人	Extraction of Anisotropic Thermal Vibration Factors for Oxygen from the Ti $L_{2,3}$ -Edge in SrTiO ₃
47062	Shogo Yamazaki	127 (2023) 14030-14040	2021B1874	BL46XU	駒場 慎一	Consumption of Fluoroethylene Carbonate Electrolyte-Additive at the Si-Graphite Negative Electrode in Li and Li-Ion Cells
			2022A1657	BL46XU	駒場 慎一	
			2022B1838	BL46XU	駒場 慎一	
47137	Fumito Fujishiro	127 (2023) 18935-18943	2019B1146	BL01B1	大石 昌嗣	B-Site Mixing Effect on the Redox Reaction of Mn Ions in Perovskite-Type SrFe _{1-x} Mn _x O _{3-δ}
			2021A1266	BL01B1	大石 昌嗣	

Science Advances

46810	Tobias Claff	5 (2019) eaax9115	2016B2708	BL41XU	Liu Zhi-Jie	Elucidating the Active δ-opioid Receptor Crystal Structure with Peptide and Small-molecule Agonists
			2018A2561	BL41XU	Liu Zhi-Jie	
			2018B2721	BL41XU	Liu Zhi-Jie	
46837	Megumi Matsumoto	10 (2024) eadf7203	2021B0185	BL47XU	松本 恵	Microstructural and Chemical Features of Impact Melts on Ryugu Particle Surfaces: Records of Interplanetary Dust Hit on Asteroid Ryugu
			2021B1600	BL47XU	安武 正展	
47014	Cheng Liu	9 (2023) eadg0087	2022B0599	BL19B2	柴山 直之	Retarding Solid-state Reactions Enable Efficient and Stable All-inorganic Perovskite Solar Cells and Modules
			2022B1906	BL19B2	柴山 直之	
47083	Cecilia Safari	9 (2023) eadh4179	2018B8068	BL3	Neutze Richard	Time-resolved Serial Crystallography to Track the Dynamics of Carbon Monoxide in the Active Site of Cytochrome c Oxidase
			2019A8077	BL2	Neutze Richard	

ACS Applied Energy Materials

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
46968	Rei Shimono	6 (2023) 9381-9389	2021B1711	BL46XU	佐伯 昭紀	Bar Coating Process of Two-Dimensional Lead Iodide Perovskite Solar Cells: Effects of Vertical Orientation, Anisotropic Photoconductivity, and Conversion Time
			2021B1935	BL46XU	但馬 敬介	
			2022A1656	BL13XU	尾坂 格	
47013	Natalia Belen Correa Guerrero	6 (2023) 10274-10284	2022A1654	BL19B2	柴山 直之	A Semitransparent Silver-Bismuth Iodide Solar Cell with V_{oc} above 0.8 V for Indoor Photovoltaics
			2022B0599	BL19B2	柴山 直之	
			2022B1906	BL19B2	柴山 直之	
			2022B1913	BL46XU	柴山 直之	
47064	Eun Jeong Kim	5 (2022) 12999-13010	2021B1874	BL46XU	駒場 慎一	Effect of Cu Substitution in P'2- and P2-Type Sodium Manganese-Based Oxides
			2022A1657	BL46XU	駒場 慎一	

ACS Catalysis

46981	Guoyu Shi	13 (2023) 12299-12309	2021B1043	BL37XU	柿沼 克良	Nanorod Structuring of IrO_x on a Unique Microstructure of Sb-Doped Tin Oxide to Dramatically Boost the Oxygen Evolution Reaction Activity for PEM Water Electrolysis
47074	Marianne van der Merwe	13 (2023) 15427-15438	2019B4910	BL15XU	Wilks Regan	The Chemical and Electronic Properties of Stability-Enhanced, Mixed Ir-TiO _x Oxygen Evolution Reaction Catalysts
47098	Hiroya Ishikawa	14 (2024) 4501-4590	2023A1896	BL01B1	山口 渉	Highly Active and Sulfur-Tolerant Ruthenium Phosphide Catalyst for Efficient Reductive Amination of Carbonyl Compounds

Advanced Energy Materials

46872	Di Zhou	14 (2024) 2400077	2021B1436	BL10XU	Troyan Ivan	Raisins in a Hydrogen Pie: Ultrastable Cesium and Rubidium Polyhydrides
47015	Zeynep Gozukara Karabag	13 (2023) 2302038	2023A1679	BL19B2	柴山 直之	Tuning 2D Perovskite Passivation: Impact of Electronic and Steric Effects on the Performance of 3D/2D Perovskite Solar Cells
			2023A1737	BL09XU	柴山 直之	
47153	Muhammad Zubair	(2024) Online published 4 Jun. 2024	2020A0755	BL08W	Bedford Nick	Vacancy Mediated Electrocatalysis of 5-Hydroxymethyl Furfuryl Using Defect Engineered Layered Double Hydroxide Electrocatalysts

Chemistry - A European Journal

46826	Koh Sugamata	30 (2024) e202400962	2023B1878	BL02B1	菅又 功	Phosphoramido-Based Metal-Organic Frameworks for Effective Gas Adsorption
			2023B1675	BL02B1	菅又 功	
			2023A1925	BL02B1	菅又 功	
			2023A1771	BL02B1	菅又 功	
			2022B1149	BL40XU	畠山 琢次	
			2022A1705	BL02B1	成田 皓樹	
			2022A1584	BL02B1	森迫 祥吾	
			2022B1626	BL02B1	村田 理尚	
			2022A1354	BL02B1	村田 理尚	
			2022A1200	BL02B1	箕浦 真生	
			2021B1798	BL02B1	早川 雅大	
			2021B1833	BL02B1	成田 皓樹	
			2021B1435	BL02B1	村田 理尚	
			2021B1132	BL02B1	森迫 祥吾	
46832	Koh Sugamata	29 (2023) e202302080	2021A1592	BL02B1	西野 龍平	Zn-Based Metal-Organic Frameworks Using Triptycene Hexacarboxylate Ligands: Synthesis, Structure, and Gas-Sorption Properties
			2021A1578	BL02B1	早川 雅大	
			2021B1435	BL02B1	村田 理尚	
			2021B1833	BL02B1	成田 皓樹	
			2021B1132	BL02B1	森迫 祥吾	
			2021B1798	BL02B1	早川 雅大	
			2022A1200	BL02B1	箕浦 真生	
			2022A1584	BL02B1	森迫 祥吾	
			2022B1626	BL02B1	村田 理尚	
			2023A1727	BL02B1	箕浦 真生	
46870	Sho Yamaguchi	30 (2024) e202303573	2023A1771	BL02B1	菅又 功	Nickel Carbide Nanoparticle Catalyst for Selective Hydrogenation of Nitriles to Primary Amines
			2022B1585	BL14B2	満留 敬人	
			2022B1699	BL14B2	水垣 共雄	
			2023A1896	BL01B1	山口 渉	

Crystal Growth & Design

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
46790	Torvid Feiler	23 (2023) 6244-6249	2021A1293	BL40XU	Bhattacharya Biswajit	Mechanistic Investigation of an Elastically Flexible Organic Crystal
46795	Ryo Nishimura	24 (2024) 2791-2798	2018A1208	BL40XU	内田 欣吾	Self-Assembly of Chiral Diarylethene Microcrystals by the Sublimation Process to Form Foliage Scroll Pattern
			2019A1403	BL40B2	内田 欣吾	
			2019B1077	BL40B2	内田 欣吾	
			2020A1072	BL40B2	内田 欣吾	
			2021B1121	BL40B2	内田 欣吾	
			2021B1122	BL40B2	内田 欣吾	
			2021B1188	BL02B1	内田 �欣吾	
			2022A1141	BL40XU	内田 欣吾	
			2022B1136	BL40XU	内田 欣吾	
			2022B1571	BL02B1	内田 欣吾	
46938	Mizuki Kira	24 (2024) 3133-3139	2020A0747	BL45XU	佐藤 宗太	Chiral Inversion of Thalidomide During Crystal Growth by Sublimation
			2021A1315	BL45XU	佐藤 宗太	
			2021B1512	BL26B1	佐藤 宗太	

Electrochemistry

46764	Yumi Katasho	92 (2024) 043004	2021A1313	BL28B2	片所 優宇美	In Situ X-ray Diffraction and Crystal Orientation Analysis for Dy-Ni Electrochemical Alloying and De-alloying in Molten LiCl-KCl-DyCl ₃
			2021B1384	BL28B2	片所 優宇美	
46931	Mitsuhiko Kishimi	92 (2024) 057001	2016B7609	BL28XU	松原 英一郎	Analytical Observation of Cathodic Zinc Deposition in High-Capacity Zinc Oxide Electrodes for Rechargeable Zinc-based Batteries: Influence of the Current Rate in the First Charging
			2017A7609	BL28XU	松原 英一郎	
			2017B1785	BL46XU	松原 英一郎	
			2017B7609	BL28XU	松原 英一郎	
			2018A1581	BL46XU	松原 英一郎	
47066	Lu Yin	91 (2023) 077005	2021B1874	BL46XU	駒場 慎一	Application of Modified Styrene-Acrylic-Rubber-based Latex Binder to LiCoO ₂ Composite Electrodes for Lithium-ion Batteries
			2022A1657	BL46XU	駒場 慎一	
			2022B1838	BL46XU	駒場 慎一	

Journal of Materials Chemistry A

47009	Moritz Hirsbrunner	12 (2024) 13852-13859	2018B1474	BL27SU	Duda Laurent	Effects of Partial Isovalent Substitution of V with (Ti,Fe) on Redox Reactivity in Li ₂ VO ₂ F Battery Cathodes
47021	Kei Okamoto	10 (2022) 23023-23027	2020A1659	BL02B2	岡本 啓	Stabilization of a High H ⁻ -conducting Phase via K Doping of Ba-Li Oxyhydride
			2019A1084	BL02B2	竹入 史隆	
			2018B1099	BL02B2	竹入 史隆	
47060	Zachary T. Gossage	11 (2023) 914-925	2021B1874	BL46XU	駒場 慎一	Fluorosulfonamide-type Electrolyte Additives for Long-life K-ion Batteries

Journal of Molecular Liquids

46941	Keisuke Matsuoka	348 (2022) 118422	2021B1652	BL40B2	吉村 優一	Vesicle Formation of Disodium Lauryl Sulfosuccinate
46945	Koichi Ozaki	403 (2024) 124822	2018B7574	BL07LSU	崔 藝濤	Hydrogen-bonded Structure of Hydrated Water in Polyvinyl Pyrrolidone Aqueous Solution Investigated by X-ray Absorption and Emission Spectroscopy
			2019B7468	BL07LSU	山添 康介	
			2020A7482	BL07LSU	山添 康介	
46966	Cyril Micheau	401 (2024) 124372	2019B1177	BL37XU	元川 竜平	Organization of Malonamides from the Interface to the Organic Bulk Phase

Journal of Non-Crystalline Solids

46762	Satoshi Hiroi	631 (2024) 122914	2023A1401	BL04B2	廣井 慧	Structural Study of Crystalline and Amorphous Phases of Si _{0.65} Ge _{0.35} B _x (x = 0, 0.01, 0.05, 0.10) Alloy Prepared by Long-time Mechanical Alloying
			2018B1372	BL04B2	廣井 慧	
46873	Kana Tomita	634 (2024) 122975	2021B1903	BL14B2	富田 夏奈	Phase-separation Transformation Behaviors in NiO Bearing Na ₂ O-B ₂ O ₃ -SiO ₂ Glass and Melt through High-temperature Ni K-edge XAFS and Time-resolved SAXS Measurements
			2021B1963	BL19B2	富田 夏奈	
			2022A1788	BL19B2	富田 夏奈	
47154	Kento Sakaeda	638 (2024) 123070	2023A1654	BL02B2	篠崎 健二	Structure and Crystallization Behavior of Na ₂ O-ZrO ₂ -SiO ₂ -P ₂ O ₅ Glass for Solid-state Electrolyte Separation

Journal of the Physical Society of Japan

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
46900	Noriaki Hamada	93 (2024) 054709	2014B1011	BL47XU	齋藤 智彦	Realistic Simulation of Valence-Band Photoemission Spectra by Using First-Principles Calculations on the Basis of FLAPW Method
			2015A1008	BL09XU	齋藤 智彦	
			2016A1013	BL09XU	齋藤 智彦	
			2016B1006	BL09XU	齋藤 智彦	
			2017A1250	BL09XU	齋藤 智彦	
			2017B1026	BL09XU	齋藤 智彦	
			2017B1303	BL09XU	齋藤 智彦	
			2018A1013	BL09XU	齋藤 智彦	
			2018B1025	BL09XU	齋藤 智彦	
			2019B1013	BL09XU	齋藤 智彦	
			2020A1008	BL09XU	齋藤 智彦	
			2020A1258	BL09XU	齋藤 智彦	
47054	Kai Ito	93 (2024) 054601	2017A1279	BL04B2	島倉 宏典	Intermolecular Correlations in Liquid Lactic Acid Based on ab initio Molecular Dynamics Simulations Combined with High-Energy X-ray Diffraction Measurements
47203	Mario Okawa	93 (2024) 074709	2016B1006	BL09XU	齋藤 智彦	Charge Disproportionation for Trimerization and Tetramerization in Spinel-Type AlV ₂ O ₄
			2017A1015	BL09XU	溝川 貴司	
			2017A1169	BL09XU	大川 万里生	
			2017A1250	BL09XU	齋藤 智彦	
			2017B1026	BL09XU	齋藤 智彦	

Nano Letters

47035	Yusuke Sakamoto	24 (2024) 5838-5846	2021A1065	BL40B2	西村 智貴	Manipulation of Macrophage Uptake by Controlling the Aspect Ratio of Graft Copolymer Micelles
			2021B1089	BL40B2	西村 智貴	
			2022A1095	BL40B2	西村 智貴	
			2022B1109	BL40B2	西村 智貴	
			2023A1121	BL40B2	西村 智貴	
			2023B1136	BL40B2	西村 智貴	
47102	Limin Yan	24 (2024) 6002-6009	2019B1580	BL10XU	Yang Wenge	Double Superconducting Dome of Quasi Two-Dimensional TaS ₂ in Non-Centrosymmetric van der Waals Heterostructure
47156	Chinmoy Das	22 (2022) 9372-9379	2021B1220	BL04B2	堀毛 悟史	Crystallization Kinetics of a Liquid-Forming 2D Coordination Polymer

Structure

46824	Zengwei Liao	32 (2024) 679-689	2023A0205	EM01CT	山本 雅貴	Structural Insights into Thermophilic Chaperonin Complexes
			2023A0205	EM02CT	山本 雅貴	
46849	Takao Arimori	32 (2024) 536-549	2021B6500	BL44XU	山下 栄樹	Locally Misfolded HER2 Expressed on Cancer Cells is a Promising Target for Development of Cancer-specific Antibodies
46850	Nozomi Sugano-Nakamura	30 (2022) 1411-1423	2021B6500	BL44XU	山下 栄樹	De novo Fc-based Receptor Dimerizers Differentially Modulate PlexinB1 Function
			理研	BL32XU		

ACS Applied Polymer Materials

47110	Hiroki Mori	6 (2024) 3883-3893	2021A1687	BL46XU	森 裕樹	Alkoxy-Substituted Anthrabilithiadiazole-Benzodithiophene-Based Wide-Band-Gap Semiconducting Polymers for High-Performance Non-Fullerene Solar Cells
			2020A1742	BL46XU	但馬 敬介	
			2020A1875	BL46XU	佐伯 昭紀	
			2021A1558	BL46XU	尾坂 格	
			2021A1641	BL46XU	但馬 敬介	
			2021B1711	BL46XU	佐伯 昭紀	
			2021B1935	BL46XU	但馬 敬介	
			2022A1656	BL13XU	尾坂 格	
			2022B1811	BL13XU	佐伯 昭紀	
47195	Chen Shen	4 (2022) 7240-7249	2021B1733	BL19B2	蟹江 澄志	Magnetorheological Elastomer Films with Controlled Anisotropic Alignment of Polystyrene-Modified Fe ₃ O ₄ Nanoplates
			2021A1540	BL19B2	蟹江 澄志	
			2021A7207	BL03XU	増井 友美	
			2021B7257	BL03XU	増井 友美	

ACS Macro 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
46874	Tomoki Mure	13 (2024) 537-541	2021A1162	BL40B2	平井 智康	Chiral Transfer of Linear Polysiloxane with Preferred-Handed Helical Conformation
			2021B1157	BL40B2	平井 智康	
			2022A1189	BL40B2	平井 智康	
			2022B1131	BL40B2	平井 智康	
			2023A1197	BL40B2	平井 智康	
			2023B1112	BL40B2	平井 智康	
47196	Ryo Mashita	13 (2024) 847-852	2020A0567	BL09XU	間下 亮	Microscopic Observation of the Anisotropy of the Johari-Goldstein- β Process in Cross-Linked Polybutadiene on Stretching by Time-Domain Interferometry
			2020A0694	BL04B2	齋藤 真器名	
			2020A1164	BL09XU	間下 亮	
			2020A1329	BL09XU	瀬戸 誠	
			2021B1326	BL35XU	間下 亮	
			2022A1471	BL35XU	間下 亮	
			2022B1234	BL35XU	間下 亮	
			2023A1437	BL35XU	間下 亮	
			2023B1207	BL35XU	間下 亮	

Acta Materialia

46799	Hui Liu	243 (2023) 118505	2020A1054	BL44B2	Chen Jun	Correlating Hidden Local Structural Distortion with Antiferroelectric-ferroelectric Transition in PbZrO ₃ -based Perovskites
47126	Tatsuo Tada	274 (2024) 120027	2021B1206	BL25SU	白土 優	Growth-associated Emergence of Spontaneous Magnetization in Al-doped Cr ₂ O ₃ Thin Film
			2021B1207	BL01B1	白土 優	

Advanced Science

46794	WooSeung Ham	10 (2023) 2206800	2020A1481	BL25SU	Kim Sanghoon	Bulk Rashba-Type Spin Splitting in Non-Centrosymmetric Artificial Superlattices
47100	Nao Komiya	11 (2024) 2309226	2022B1228	BL04B2	桑折 道済	Magnetic Supramolecular Spherical Arrays: Direct Formation of Micellar Cubic Mesophase by Lanthanide Metallomesogens with 7-Coordination Geometry

Angewandte Chemie International Edition

47000	Takuo Minato	62 (2023) e202309469	2021B1018	BL02B1	小島 達弘	A Cationic Metal Glue Strategy for Expanding Paramagnetic Hetero-Multinuclear Metal-Oxo Clusters within Polyoxometalate Ligands
			2022A1004	BL02B1	小島 達弘	
			2022B1781	BL02B1	小島 達弘	
47130	Koki Kasuya	63 (2024) e202404700	2022A1093	BL40XU	久木 一朗	Photo-Responsive Hydrogen-Bonded Molecular Networks Capable of Retaining Crystalline Periodicity after Isomerization
			2022B1151	BL40XU	久木 一朗	
			2023B1142	BL40XU	久木 一朗	

Applied Physics Letters

46925	Tomoki Uchiyama	124 (2024) 171105	2021A1638	BL14B2	内山 智貴	Direct Recording and Reading of Mechanical Force by Afterglow Evaluation of Multi-piezo Mechanoluminescent Material Li _{0.12} Na _{0.88} NbO ₃ on Well-designed Morphotropic Phase Boundary
			2021A1668	BL14B2	内山 智貴	
			2021A1685	BL14B2	内山 智貴	
			2021B1039	BL39XU	内山 智貴	
			2022A1773	BL19B2	内山 智貴	
47149	S. Nakata	124 (2024) 202405	2022A3231	BL24XU	住田 弘祐	Spectroscopic Investigations on Trivalent Ruthenium Ions in Ruthenium Perovskite Oxide Thin Films
			2022B3231	BL24XU	住田 弘祐	

Applied Surface Science

46805	Kaito Fujitani	637 (2023) 157891	2022A3231	BL24XU	住田 弘祐	Preferential Side Chain Scission of Polytetrafluoroethylene by Bending Stress
			2022B3231	BL24XU	住田 弘祐	
46905	Asahiko Matsuda	659 (2024) 159941	2016A4600	BL15XU	Gerlach Dominic	NF ₃ and F ₂ Gas Fluorination of GaN Surface and Pt/GaN Interface Analyzed by Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy
			2016B4601	BL15XU	松田 朝彦	
			2016B4602	BL15XU	長田 貴弘	
			2017A4604	BL15XU	松田 朝彦	

Catalysis Science & Technology

46766	Qing Yu	14 (2024) 2730-2738	2019B1820	BL14B2	山口 和也	Ni-catalyzed Undirected and Regioselective Acceptorless Dehydrogenative Silylation of Primary Benzylic C(sp ³)-H bonds
			2021A1620	BL14B2	山口 和也	
			2022A1803	BL14B2	矢部 智宏	
47148	Keiju Wachi	13 (2023) 4744-4752	2022B1656	BL14B2	矢部 智宏	Role of Polyoxometalate Precursors and Supports in the Selective Oxidation of Methane into Formaldehyde using Supported Metal Oxide Subnanocluster Catalysts

Chemical Communications

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
46935	Takuya Kurihara	60 (2024) 5074-5077	2021B1312	BL02B2	栗原 拓也	CO ₂ -induced Gate-opening Structural Transition Process of a Porous Coordination Polymer Revealed by Solid-state ¹³ C NMR
47155	Chonwarin Thanaphatkosol	58 (2022) 6064-6067	2021A1239	BL04B2	堀毛 悟史	Modulation of Proton Conductivity in Coordination Polymer Mixed Glasses

Chemistry Letters

46763	Naoki Kanno	53 (2024) upad014	2021A3741	BL22XU	中瀬 正彦	Determination of Fe ²⁺ in Tin Oxide-containing Glass through Valence-Selective Solvent Extraction and Colorimetric Analysis Following Glass Decomposition
			2021B3739	BL22XU	中瀬 正彦	
			2022A3738	BL22XU	中瀬 正彦	
47034	Yuki Watanabe	52 (2023) 430-433	2021B1832	BL01B1	渡邊 雄貴	Bismuth Substitution in HSbOI with Positively-charged Oxide Clusters

Earth and Planetary Science Letters

46868	Yuichiro Mori	634 (2024) 118673	2021A1522	BL04B1	鍵 裕之	Hydrogenation of Silicon-bearing Hexagonal Close-packed Iron and its Implications for Density Deficits in the Inner Core
			2021B1646	BL04B1	鍵 裕之	
			2022A0314	BL04B1	森 悠一郎	
47127	Marisa C. Wood	641 (2024) 118792	2021B1254	BL04B1	Greaux Steeve	Sound Velocities in Lunar Mantle Aggregates at Simultaneous High Pressures and Temperatures: Implications for the Presence of Garnet in the Deep Lunar Interior
			2022B1317	BL04B1	Greaux Steeve	

The FEBS Journal

46786	Haruo Ogawa	291 (2024) 2273-2286	2009B1534	BL41XU	小川 治夫	Structural Insight into Hormone Recognition by the Natriuretic Peptide Receptor-A
			2010A1493	BL41XU	小川 治夫	
			2010B1533	BL41XU	小川 治夫	
			2011A1287	BL41XU	小川 治夫	
			2012B1798	BL41XU	小川 治夫	
			2016A2512	BL41XU	小川 治夫	
47103	Seiji Negoro	290 (2023) 3400-3421	2014B6925	BL44XU	柴田 直樹	X-ray Crystallographic and Mutational Analysis of the NylC Precursor: Catalytic Mechanism of Autocleavage and Substrate Hydrolysis of Nylon Hydrolase

FEBS Open Bio

46933	Mohammad R. Haque	9 (2019) 618-628	2016B6654	BL44XU	山本 幸治	Molecular Structure of a 5,10-methylenetetrahydrofolate Dehydrogenase from the Silkworm <i>Bombyx mori</i>
			2017A6764	BL44XU	山本 幸治	
			2017B6764	BL44XU	山本 幸治	
47112	Julia Kitadokoro	14 (2024) 942-954	2020A6512	BL44XU	北所 健悟	Crystal Structure of <i>Staphylococcus aureus</i> Lipase Complex with Unsaturated Petroselinic Acid
			2021A6611	BL44XU	北所 健悟	
			2021B6611	BL44XU	北所 健悟	
			2022A6710	BL44XU	北所 健悟	
			2022B6710	BL44XU	北所 健悟	
			2023A6809	BL44XU	北所 健悟	
			2023B6809	BL44XU	北所 健悟	
			2019A6912	BL44XU	北所 健悟	

Inorganics

46767	Martina Vrankic	12 (2024) 99	2017B1358	BL44B2	高林 康裕	On the Structural and Vibrational Properties of Solid Endohedral Metallofullerene Li@C ₆₀
			2017B1276	BL10XU	高林 康裕	
			2018A1398	BL44B2	高林 康裕	
			2017A4131	BL12B2	Prassides Kosmas	
			2017A1363	BL44B2	Prassides Kosmas	
			2022A1699	BL10XU	芳鐘 順也	
46876	Shinnosuke Usuda	12 (2024) 66	2022A1200	BL02B1	箕浦 真生	[1]Ferrocenophane Bridged by a 9-Silafluorenylidene Moiety
			2022A1354	BL02B1	村田 理尚	
			2022A1584	BL02B1	森迫 祥吾	
			2022A1705	BL02B1	成田 皓樹	
			2022B1626	BL02B1	村田 理尚	
			2022B0589	BL02B1	森迫 祥吾	
			2023A1539	BL02B1	森 達哉	
			2023A1771	BL02B1	菅又 功	
			2023A1785	BL02B1	森 達哉	
			2023A1794	BL02B1	高橋 聰史	
			2023A1859	BL02B1	村田 理尚	
			2023A1925	BL02B1	菅又 功	
			2023B1675	BL02B1	菅又 功	
			2023B1806	BL02B1	村田 理尚	

JACS Au

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
46967	Chisato Nishikawa	3 (2023) 3194-3203	2022A1656	BL13XU	尾坂 格	Exploration of Solution-Processed Bi/Sb Solar Cells by Automated Robotic Experiments Equipped with Microwave Conductivity
			2022B1811	BL13XU	佐伯 昭紀	
			2021B1711	BL46XU	佐伯 昭紀	
47044	Yin-cheng Hsieh	4 (2024) 2130-2150	2018A6600	BL44XU	Chen Chun Jung	Structure-Based High-Efficiency Homogeneous Antibody Platform by Endoglycosidase S _Z Provides Insights into Its Transglycosylation Mechanism
			2018B6600	BL44XU	Chen Chun Jung	
			2019A6600	BL44XU	Chen Chun Jung	
			2019B6600	BL44XU	Chen Chun Jung	

Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena

47140	Genki Suzuki	274 (2024) 147450	2016B1441	BL47XU	池永 英司	Reassessment of the Shirley and Model Functions within X-ray Photoelectron Spectroscopy Analysis Utilizing Comprehensive Search Methodologies of Bayesian Inference
			2017B1413	BL47XU	池永 英司	
			2018A1212	BL47XU	池永 英司	
			2018B1497	BL47XU	池永 英司	
			2019A0067	BL47XU	池永 英司	
			2019B1229	BL09XU	池永 英司	
			2021B1477	BL09XU	池永 英司	
			2016B3836	BL23SU	小川 智史	
47151	A. Yamaguchi	267 (2023) 147385	2021A3231	BL24XU	住田 弘祐	Soft X-ray Microspectroscopic Imaging Studies of Exfoliated Surface between Fluoropolymer and Cu Plate Directly Bonded by Plasma Irradiation with Ammonia Gas
			2022B3231	BL24XU	住田 弘祐	

Journal of Oleo Science

46942	Keisuke Matsuoka	70 (2021) 911-918	2018A1688	BL40B2	矢田 詩歩	Micelle Formation of Monoammonium Glycyrrhizinate
46943	Keisuke Matsuoka	72 (2023) 831-837	2022B1476	BL40B2	吉村 優一	Micelle Formation of Dodecanoic Acid with Alkali Metal Counterions

Journal of Solid State Chemistry

46853	Kohei Matsuzaki	329 (2024) 124380	2021A1599	BL02B2	安井 雄太	Structural and Electrical Properties of Bi ₃ GaSb ₂ O ₁₁ at High Temperatures
			2021B1826	BL02B2	矢口 寛	
			2022A1270	BL02B2	藤井 孝太郎	
46904	Seiya Shimono	334 (2024) 124685	2022B1816	BL19B2	山田 幾也	High-pressure Synthesis and Magnetic Characterization of Quadruple Perovskites SmA' ₃ Co ₄ O ₁₂ (A' = Cu, Mn)

Journal of Solid State Electrochemistry

46819	Hiroshi Yamaguchi	(2024) Online published 5 Apr. 2024	2017B1847	BL08W	尾原 幸治	Formation Process of Halogen-rich Argyrodite: Elemental Disorderering of Atomic Arrangement at the 4a and 4d Sites in a Heat Treatment
			2018A1304	BL08W	尾原 幸治	
			2018B1348	BL08W	尾原 幸治	
			2021A1267	BL04B2	尾原 幸治	
			2021B1362	BL37XU	尾原 幸治	
			2021B2086	BL37XU	尾原 幸治	
46840	Atsushi Yao	(2024) Online published 15 Apr. 2024	2020A1702	BL08W	宇都野 太	In situ Structural Characterization of Li ₃ PS ₄ Solid Electrolytes under High Pressure
			2020A1703	BL04B2	宇都野 太	
			2021A1267	BL08W	尾原 幸治	
			2021B1744	BL08W	尾原 幸治	
			2022A1238	BL08W	尾原 幸治	
			2022B1224	BL08W	尾原 幸治	

Metalloomics

47075	Masato Tokoro	16 (2024) mfae009	2014B1765	BL37XU	藤田 健太郎	Uptake and Accumulation Mechanisms of Hexachloroplatinate(IV) Ions in the Unicellular Alga, <i>Pseudococomyxa simplex</i>
			2015A1803	BL37XU	高橋 拓人	
			2016A1710	BL37XU	今村 悠	
47099	Robby Noor Cahyono	12 (2020) 337-345	2018B2707	BL26B1	長尾 聰	3D Domain Swapping of Azurin from <i>Alcaligenes xylosoxidans</i>
			2018B2707	BL38B1	長尾 聰	

Nanoscale

47036	Daisuke Ogawa	16 (2024) 7908-7915	2023A1121	BL40B2	西村 智貴	A Magnetically Responsive Photonic Crystal of Graphene Oxide Nanosheets
47145	Butsaratip Suwattananuruk	16 (2024) 12474-12481	2021B1941	BL14B2	植竹 裕太	Dehydrogenative Oxidation of Hydrosilanes using Gold Nanoparticle Deposited on Citric Acid-modified Fibrillated Cellulose: Unveiling the Role of Molecular Oxygen
			2022B1890	BL14B2	植竹 裕太	

Nature 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
46877	Allan S. Johnson	20 (2024) 970-975	2018A8007	BL3	Wall Simon	All-optical Seeding of a Light-induced Phase Transition with Correlated Disorder
			2019A8038	BL3	Trigo Mariano	
			2019B8075	BL3	Trigo Mariano	
47178	Anita Verma	20 (2024) 807-814	2019A8084	BL3	Singer Andrej	Picosecond Volume Expansion Drives a Later-time Insulator-Metal Transition in a Nano-textured Mott Insulator

NPG Asia Materials

46857	Yohei Onodera	16 (2024) 22	2019A1722	BL13XU	滝本 康幸	Formation of a Zirconium Oxide Crystal Nucleus in the Initial Nucleation Stage in Aluminosilicate Glass Investigated by X-ray Multiscale Analysis
47030	Kakeru Ujimoto	16 (2024) 20	2015A1215	BL39XU	白土 優	Giant Gate Modulation of Antiferromagnetic Spin Reversal by the Magnetoelectric Effect
			2017A1212	BL39XU	白土 優	
			2018B1338	BL39XU	白土 優	
			2022A1205	BL25SU	白土 優	
			2022A1206	BL25SU	大河内 拓雄	
			2022B1247	BL25SU	白土 優	
			2022B1245	BL39XU	白土 優	

Physical Chemistry Chemical Physics

47011	Weronika O. Razmus	26 (2024) 12725-12737	2021B8052	BL1	Forbes Ruaridh	Exploring the Ultrafast and Isomer-dependent Photodissociation of Iodothiophenes via Site-selective Ionization
47122	Shohei Tada	26 (2024) 14037-14045	2023B1576	BL14B2	多田 昌平	Difference in Reaction Mechanism between ZnZrO _x and InZrO _x for CO ₂ Hydrogenation

Physical Review Letters

46808	Jie Chen	132 (2024) 156701	2023A2361	BL02B2	山浦 一成	Exotic Magnetism in Perovskite KOsO ₃
			2023B1676	BL02B2	山浦 一成	
47176	Makina Saito	132 (2024) 256901	2019B1442	BL09XU	間下 亮	Broadband Quasielastic Scattering Spectroscopy using a Multiline Frequency Comblike Spectrum in the Hard X-ray Region
			2020A0693	BL09XU	齋藤 真器名	
			2020A2038	BL09XU	依田 芳卓	
			2021B1439	BL35XU	齋藤 真器名	
			2022A1343	BL35XU	齋藤 真器名	
			2022B1293	BL35XU	齋藤 真器名	

Physical Review Materials

46843	Zhe Zhang	7 (2023) 125402	2020A0678	BL04B2	Li Bing	Local Atomic Structures and Lattice Dynamics of Inverse Colossal Barocaloric Ammonium Thiocyanate
47088	Ryo Toyama	7 (2023) 084401	2023A1563	BL13XU	桜庭 裕弥	Origin of Negative Anisotropic Magnetoresistance Effect in Fe _{0.75} Co _{0.25} Single-crystal Thin Films upon Ir Addition

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

46939	Kyouko Itoh	116 (2019) 19945-19951	2010B6500	BL44XU	山下 栄樹	Monomeric Structure of an Active Form of Bovine Cytochrome c Oxidase
			2011A6500	BL44XU	山下 栄樹	
47040	Koji Kato	121 (2024) e2319658121	2022A2728	EM01CT	Shen Jian-Ren	The Structure of PSI-LHCI from <i>Cyanidium caldarium</i> Provides Evolutionary Insights into Conservation and Diversity of Red-lineage LHCs
			2023A2716	EM01CT	Shen Jian-Ren	

Protein Science

46962	Peng Lu	33 (2024) e4881	2017B6733	BL44XU	永田 宏次	Molecular Mechanism of Fe ³⁺ Binding Inhibition to <i>Vibrio metschnikovii</i> Ferric Ion-binding Protein, FbpA, by Rosmarinic Acid and Its Hydrolysate, Danshensu
			2018B6831	BL44XU	永田 宏次	
			2020A6528	BL44XU	永田 宏次	
			2021A6625	BL44XU	永田 宏次	
			2021B6625	BL44XU	永田 宏次	
			2022A6721	BL44XU	永田 宏次	
			2022B6721	BL44XU	永田 宏次	
			2023A6821	BL44XU	永田 宏次	
47025	Gert-Jan Bekker	32 (2023) e4775	2022A2733	BL45XU	沼本 修孝	Elucidation of Binding Mechanism, Affinity, and Complex Structure between mWT1 Tumor-associated Antigen Peptide and HLA-A*24:02

Scripta Materialia

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
46858	Qilong Gao	187 (2020) 119-124	2019A1095	BL04B2	Chen Jun	Large Isotropic Negative Thermal Expansion in Water-free Prussian Blue Analogues of $\text{ScCo}(\text{CN})_6$
			2019A1167	BL02B2	Chen Jun	
			2019A1340	BL04B2	Liang Erjun	
46879	Kartik Prasad	200 (2021) 113896	2020A1758	BL46XU	鳥塚 史郎	<i>In situ</i> Synchrotron Diffraction Study of a Crack-free Additively Manufactured Ni Base Superalloy

Soft Matter

47055	Changming Jin	18 (2022) 5027-5036	2021B1830	BL40B2	金 昌明	Synergetic Improvement in the Mechanical Properties of Polyurethanes with Movable Crosslinking and Hydrogen Bonds
			2022A1505	BL43IR	池本 夕佳	
47056	Naoki Yamashita	19 (2023) 9074-9081	2022B1704	BL43IR	金 昌明	Enhancement of the Mechanical Properties of Organic-Inorganic Hybrid Elastomers by Introducing Movable and Reversible Crosslinks
			2022B1705	BL40B2	河合 優作	
			2022B1934	BL19B2	高島 義徳	
			2023B1616	BL19B2	山岡 賢司	

2023 22nd International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems

47085	Kentaro Kotoya	(2024) 757-760	2019A1126	BL28B2	清水 啓史	Microfluidic-Based Diffracted X-ray Tracking Method for Real-Time Observation of Ion Channel Twist Motion Under Sequential Chemical Stimuli
			2019B1200	BL28B2	清水 啓史	
			2020A1167	BL28B2	清水 啓史	
			2021A1197	BL28B2	清水 啓史	
			2021B1289	BL28B2	清水 啓史	
			2022A1431	BL28B2	清水 啓史	
			2022B1771	BL28B2	清水 啓史	

ACS Applied Electronic Materials

46834	Santosh P. Chiniwar	6 (2024) 1078-1086	2018B4127	BL12B2	Tseng Yuan-Chieh	Ferroelectric Enhancement in a $\text{TiN}/\text{Hf}_{1-x}\text{Zr}_x\text{O}_2/\text{W}$ Device with Controlled Oxidation of the Bottom Electrode
-------	---------------------	-----------------------	-----------	--------	------------------	--

ACS Applied Materials & Interfaces

47061	Asako Oishi	14 (2022) 51808-51818	2021B1874	BL46XU	駒場 慎一	Sulfated Alginate as an Effective Polymer Binder for High-Voltage $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$ Electrodes in Lithium-Ion Batteries
-------	-------------	--------------------------	-----------	--------	-------	--

ACS Materials Letters

46842	Takuya Ohmi	6 (2024) 1913-1919	2022A1191	BL02B2	山本 隆文	FA ₄ Pb _{2l+5} (SCN) _{0.5} : $n = 3$ Member of Perovskite Homologous Series FA _{$n+1$} Pb _{$n-1$} I _{3n-1.5} (SCN) _{0.5} with Columnar Defects
			2022B1579	BL13XU	山本 隆文	
			2023A1502	BL13XU	山本 隆文	

ACS Nano

46838	Yuhao Shi	18 (2024) 9736-9745	2023A1720	BL09XU	金 正煥	Approach to Low Contact Resistance Formation on Buried Interface in Oxide Thin-Film Transistors: Utilization of Palladium-Mediated Hydrogen Pathway
			2023A1917	BL09XU	金 正煥	
			2023B1051	BL09XU	金 正煥	
			2023B1851	BL09XU	金 正煥	

ACS Omega

47125	Ritsuko Eguchi	9 (2024) 21287-21297	2022B1350	BL47XU	久保園 芳博	Superstructure of $\text{Fe}_{5-x}\text{GeTe}_2$ Determined by Te K-Edge Extended X-ray Absorption Fine Structure and Te Ka X-ray Fluorescence Holography
			2022B1055	BL14B2	正井 博和	
			2023A1814	BL14B2	正井 博和	

Advanced Electronic Materials

47045	Yuto Watanabe	(2024) Online published 14 Mar. 2024	2023A1254	BL10XU	水口 佳一	Pressure-Induced Volumetric Negative Thermal Expansion in CoZr_2 Superconductor
-------	---------------	--	-----------	--------	-------	--

Advanced Functional Materials

47012	Ni Zhang	33 (2023) 2300830	2022A1654	BL19B2	柴山 直之	Host-Guest Complexation Strategy for Passivating Pb-Dimer Related Defects in Perovskite Photovoltaics
			2022B0599	BL19B2	柴山 直之	
			2022B1906	BL19B2	柴山 直之	
			2022B1913	BL46XU	柴山 直之	

Advanced Materials

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
46908	Jing Sun	32 (2020) 2002968	2019A1095	BL04B2	Chen Jun	Negative-Pressure-Induced Large Polarization in Nanosized PbTiO ₃
			2019A1167	BL02B2	Chen Jun	
			2019B1120	BL44B2	Chen Jun	
			2018B1045	BL04B2	Xing Xianran	

Advanced Sustainable Systems

46768	Yasuhiro Takabayashi	8 (2024) Online published 9 Mar. 2024	2019A7616	BL28XU	安部 武志	Operando Combined SAXS/XRD/XAFS Measurements of Lithium Conversion Battery
			2019B7616	BL28XU	安部 武志	
			2020A7616	BL28XU	安部 武志	
			2021B7618	BL28XU	安部 武志	

AIP Advances

46964	Mitsunori Honda	13 (2023) 015314	2017A3506	BL11XU	本田 充紀	EXAFS Investigation of Strontium Adsorption onto Weathered Biotite
-------	-----------------	---------------------	-----------	--------	-------	--

AIP Conference Proceedings

47092	Yoko Takeo	2990 (2023) 030004	2020A8114	BL1	江川 悟	Multi-aperture Grating for Spectroscopic and Microscopic Imaging with Single-shot X-ray Pulse
			2021A8030	BL1	江川 悟	
			2021B8042	BL1	江川 悟	

American Mineralogist

47133	Nozomi M. Kondo	109 (2024) 1045-1053	2021A1068	BL37XU	河野 義生	Different Structural Behavior of MgSiO ₃ and CaSiO ₃ Glasses at High Pressures
			2020A0600	BL37XU	河野 義生	
			2019B1111	BL37XU	河野 義生	
			2021A1096	BL04B2	近藤 望	
			2021A1087	BL04B2	河野 義生	
			2019B1495	BL04B2	近藤 望	

Analyst

46965	Takumi Yomogida	149 (2024) 2932-2941	2020A0174	BL37XU	高橋 嘉夫	Application of Transition-edge Sensors for Micro-X-ray Fluorescence Measurements and Micro-X-ray Absorption Near Edge Structure Spectroscopy: a Case Study of Uranium Speciation in Biotite Obtained from a Uranium Mine
			2021A1610	BL37XU	蓬田 匠	
			2019A1523	BL37XU	高橋 嘉夫	
			2019B1498	BL37XU	高橋 嘉夫	

APL Energy

46822	Veenavee Nipunika Kothalawala	2 (2024) 026102	2022A1454	BL08W	Barbiellini Bernardo	Determining Effects of Doping Lithium Nickel Oxide with Tungsten using Compton Scattering
			2023A1475	BL08W	鈴木 宏輔	

APL Materials

47160	Thanakorn Tiyawarakul	11 (2023) 041119	2022B1617	BL14B2	堀毛 悟史	Macroscopic Shaping of Coordination Polymer via Crystal-glass Phase Transformation as Monolithic Catalyst for Efficient Catalyst Recovery
-------	-----------------------	---------------------	-----------	--------	-------	---

Applied Catalysis A, General

47166	Jungmok Oh	681 (2024) 119783	2021A3649	BL14B1	唐 佳藝	P-modified Pt/Al ₂ O ₃ Catalysts for Selective Propane Dehydrogenation
-------	------------	----------------------	-----------	--------	------	--

Applied Catalysis B

47039	Wen-Ta Yang	352 (2024) 124017	2023A4133	BL12B2	Kao Li-Cheng	Mechanistic Insights into Temperature Hysteresis in CO Oxidation on Cu-TiO ₂ Mesosphere
-------	-------------	----------------------	-----------	--------	--------------	--

Archives of Biochemistry and Biophysics

47194	Mutsumi Yoshida	758 (2024) 110068	2022B2529	BL38B1	織田 昌幸	Affinity-matured Antibody with a Disulfide Bond in H-CDR3 Loop
			2023A2728	BL38B1	織田 昌幸	

Arthropod Structure & Development

46780	Zixin Cheng	66 (2022) 101141	2016A1269	BL47XU	Blanke Alexander	Exploration of the Homology among the Muscles Associated with the Female Genitalia of the Three Suborders of Psocodea (Insecta)
			2017B1712	BL47XU	小川 直記	
			2018B1725	BL20B2	小川 直記	

Asian Journal of Organic Chemistry

46957	Koya Uno	13 (2024) e202400039	2019B1452	BL40B2	前田 大光	Preparation and Structures of Multicomponent Crystals Composed of Heteroaromatic Cations, p-Toluenesulfonate Anion, and Aromatic Hydrogen-Bond Donors
			2021A1609	BL02B1	水口 敬	

Batteries and Supercaps

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
47065	Masayoshi Matsuzaki	7 (2024) e202400009	2019B1850	BL46XU	久保田 圭	Application of Na ₂ CO ₃ as a Sacrificial Electrode Additive in Na-ion Batteries to Compensate for the Sodium Deficiency in Na _{2/3} [Fe _{1/2} Mn _{1/2}]O ₂
			2021B1874	BL46XU	駒場 慎一	

Biochemical Journal

46912	Takafumi Kawai	479 (2022) 1127-1145	2016A6500	BL44XU	山下 栄樹	Insight into the Function of a Unique Voltage-sensor Protein (TMEM266) and its Short Form in Mouse Cerebellum
-------	----------------	-------------------------	-----------	--------	-------	---

Biochemistry and Biophysics Reports

46914	Daisuke Sasaki	38 (2024) 101712	2018B1435	BL40XU	関口 博史	Micro-second Time-resolved X-ray Single-molecule Internal Motions of SARS-CoV-2 Spike Variants
			2020A2022	BL40XU	関口 博史	
			2021B1393	BL40XU	佐々木 裕次	
			2022A1337	BL40XU	佐々木 裕次	

Biochimica et Biophysica Acta - Molecular Cell Research

47031	Kazuhiro Abe	1870 (2023) 119543	2023B2518 2022B2522	EM01CT EM01CT	阿部 一啓 阿部 一啓	An Unusual Conformation from Na ⁺ -sensitive Non-gastric Proton Pump Mutants Reveals Molecular Mechanisms of Cooperative Na ⁺ -binding
-------	--------------	-----------------------	------------------------	------------------	----------------	--

Biological and Pharmaceutical Bulletin

47199	Ryuichiro Mochizuki	47 (2024) 1224-1230	2018A1200	BL40B2	橋崎 要	Preparation and Application of Decanoic Acid/Arginine Hydrogels to a Transdermal Formulation
			2020A1076	BL40B2	橋崎 要	
			2022A1143	BL40B2	橋崎 要	

Biomacromolecules

46930	Kayoko Kobayashi	25 (2024) 864-870	2022A1487	BL40B2	小林 加代子	Elucidation of the Specific Ion Effects and Intermediate Structures of Cellulose Fibers Swollen in Inorganic Salt Solutions via In Situ X-ray Diffraction
-------	------------------	----------------------	-----------	--------	--------	---

Biophysics and Physicobiology

46875	Hiroyuki Iwamoto	21 (2024) e210014	2016B1236	BL40XU	大岩 和弘	X-ray Diffraction Recording from a Small Amount of Fibrous Protein Materials Oriented by a Micro Shear-flow Cell
			2017A1058	BL40XU	大岩 和弘	
			2017B1247	BL40XU	大岩 和弘	
			2018A1079	BL40XU	大岩 和弘	
			2018B1057	BL40XU	大岩 和弘	
			2019A1102	BL40XU	大岩 和弘	
			2019B1124	BL40XU	大岩 和弘	
			2020A1116	BL05XU	大岩 和弘	
			2020A2031	BL40XU	岩本 裕之	

ChemCatChem

47042	Masaru Kato	(2024) Online published 22 Apr. 2024	2021B3593	BL11XU	加藤 優	Cu, Fe, N-doped Carbon Nanotubes Prepared through Silica Coating for Selective Oxygen Reduction to Water in Acidic Media
-------	-------------	--	-----------	--------	------	--

Chemical Engineering Journal

46856	Kaining Li	488 (2024) 150952	2021A1089 2023A1676	BL01B1 BL01B1	桑原 泰隆 桑原 泰隆	Hollow Carbon Sphere Featuring Highly Dispersed Co-N _x Sites for Efficient and Controllable Syngas Electrosynthesis from CO ₂
-------	------------	----------------------	------------------------	------------------	----------------	---

Chemistry - An Asian Journal

46894	Koh Sugamata	19 (2024) e202400262	2023B1878	BL02B1	菅又 功	Reactivity of a Linear 2-Germapropadiene with Acids, Ketones, and Amines
			2023B1675	BL02B1	菅又 功	
			2023A1925	BL02B1	菅又 功	
			2023A1771	BL02B1	菅又 功	
			2022B1149	BL40XU	畠山 琢次	
			2022A1705	BL02B1	成田 皓樹	
			2022B1626	BL02B1	村田 理尚	
			2022A1584	BL02B1	森迫 祥吾	
			2022A1354	BL02B1	村田 理尚	
			2022A1200	BL02B1	箕浦 真生	
			2021B1798	BL02B1	早川 雅大	
			2021B1833	BL02B1	成田 皓樹	
			2021B1435	BL02B1	村田 理尚	
			2021B1132	BL02B1	森迫 祥吾	
			2021A1578	BL02B1	早川 雅大	
			2021A1592	BL02B1	西野 龍平	

Chemistry and Physics of Lipids

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
46940	Keisuke Matsuoka	259 (2024) 105378	2019B1782	BL40B2	河合 里沙	Micelle Formation of Sodium Taurolithocholate

Chemosphere

46800	Kazuya Tanaka	355 (2024) 141837	2020A1423	BL01B1	田中 万也	Microbially Formed Mn(IV) Oxide as a Novel Adsorbent for Removal of Radium
			2021A1382	BL01B1	田中 万也	

ChemPhysChem

47090	Lise Joost Stöckler	24 (2023) e202300407	2022A8003	BL2	Iversen Bo	Pair Distribution Function from Liquid Jet Nanoparticle Suspension using Femtosecond X-ray Pulses
-------	---------------------	-------------------------	-----------	-----	------------	---

Chinese Physics Letters

47046	Xin He	40 (2023) 107403	2023B1273 2023B1182	BL10XU BL10XU	Liu Arthur Haozhe Liu Arthur Haozhe	Superconductivity above 30K Achieved in Dense Scandium
-------	--------	---------------------	------------------------	------------------	--	--

Communications Biology

46960	Yusuke Anan	7 (2024) 149	2022A6721	BL44XU	永田 宏次	Molecular and Structural Basis of Anti-DNA Antibody Specificity for Pyrrolated Proteins
			2022B6721	BL44XU	永田 宏次	

Communications Materials

46855	Riho Morikawa	4 (2023) 42	2021B1826	BL02B2	矢口 寛	High Proton Conduction in Ba ₂ LuAlO ₅ with Highly Oxygen-deficient Layers
-------	---------------	----------------	-----------	--------	------	--

Dalton Transactions

47026	Nur Ika Puji Ayu	52 (2023) 15420-15425	2019A1084	BL02B2	竹入 史隆	A New Family of Anti-perovskite Oxyhydrides with Tetrahedral GaO ₄ Polyanions
-------	------------------	--------------------------	-----------	--------	-------	--

e-Journal of Surface Science and Nanotechnology

46985	Yasuhiro Takabayashi	(2024) Online published May 11, 2024	2021B7619	BL28XU	安部 武志	In-situ Study of Solid-Liquid Interface Structure of Zinc-anode Battery by X-ray Total Reflection
			2022A7619	BL28XU	安部 武志	
			2022B7619	BL28XU	安部 武志	

ECS Transactions

47181	Kaoruko Morita	113 (2024) 11	2022B1197	BL37XU	折笠 有基	In-situ X-ray Fluorescence Analysis of In-plane Cerium-ion Distribution Under Humidity Gradients in Proton Exchange Membrane
			2022B7120	BL33XU	北野 直紀	
			2023A7120	BL33XU	北野 直紀	
			2023B1189	BL37XU	折笠 有基	
			2023B1194	BL37XU	折笠 有基	

eLife

46809	Ye Zhou	8 (2019) e48822	2018A2559	BL41XU	Zhang Cai	Crystal Structure of Dopamine Receptor D4 Bound to the Subtype Selective Ligand, L745870
-------	---------	--------------------	-----------	--------	-----------	--

Energy Advances

47037	Kazuhiro Mukai	3 (2024) 1099-1110	2023B7045	BL33XU	向 和彦	Mechanisms Underlying the Acid Leaching Process for LiNi _{0.6} Co _{0.2} Mn _{0.2} O ₂ with and without H ₂ O ₂
			2023A7045	BL33XU	向 和彦	
			2022B7008	BL33XU	野中 敬正	

Energy & Fuels

46969	Mingjie Li	38 (2024) 10050-10061	2021B1357	BL01B1	宍戸 哲也	Phosphorus-Enhanced Ru/TiO ₂ Catalysts: A Leap in Selective CO ₂ to CO Conversion
			2019A1522	BL01B1	宍戸 哲也	

Entomological Science

46778	Tatsuki Matoba	27 (2024) e12570	2022A1201	BL20XU	吉澤 和徳	Traumatic Copulation and Counterpart Female Traits are Widespread in Fritillary Butterflies (Lepidoptera: Nymphalidae: Argynnini)
-------	----------------	---------------------	-----------	--------	-------	---

European Journal of Inorganic Chemistry

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
46796	Mariko Yukimoto	27 (2024) e202300663	2022B1603	BL02B1	箕浦 真生	Synthesis of 1-Adamantylaminogermylene and Its Chalcogenation Reactions
			2021A1361	BL40XU	行本 万里子	
			2022A1200	BL02B1	箕浦 真生	
			2022A1621	BL02B1	行本 万里子	

FEBS Letters

46915	Takaaki Fujiwara	598 (2024) 1422-1437	2021B2559	BL45XU	藤原 孝彰	Structural Basis for the Minimal Bifunctional Alginate Epimerase AlgE3 from <i>Azotobacter chroococcum</i>
			2022A2748	BL45XU	藤原 孝彰	
			2023A2746	BL45XU	藤原 孝彰	

Geophysical Research Letters

47144	Tomohiro Ohuchi	51 (2024) e2024GL108356	2022B1183	BL04B1	大内 智博	Transient Creep in Olivine at Shallow Mantle Pressures: Implications for Time-Dependent Rheology in Post-Seismic Deformation
			2023A1213	BL04B1	大内 智博	

Green Chemistry

46871	Katsumasa Sakoda	26 (2024) 2571-2576	2021B1945	BL14B2	水垣 共雄	Reductive Amination of Carboxylic Acids under H ₂ using a Heterogeneous Pt-Mo Catalyst
			2022B1699	BL14B2	水垣 共雄	
			2022B0519	BL01B1	満留 敬人	
			2022B0586	BL14B2	水垣 共雄	

High Pressure Research

47173	Angelika D. Rosa	(2024) Online published 17 Jun. 2024	2019B1521	BL37XU	石松 直樹	New Opportunities for High Pressure X-ray Absorption Spectroscopy at ID24-DCM and BM23 with the Extremely Brilliant Source of the ESRF
-------	------------------	--	-----------	--------	-------	--

High Temperature Corrosion of Materials

47053	Masahiro Negami	101 (2024) 511-527	2022A5012	BL16XU	水間 秀一	The Oxidation Behaviors of NiCoCrAlY Coatings After Pre-Oxidation Treatment During High-Temperature Oxidation at 800 °C and 900 °C
			2022B5012	BL16XU	水間 秀一	

Interactions

46775	Satoshi Tsutsui	245 (2024) 55	2020A1346	BL09XU	筒井 智嗣	¹⁴⁹ Sm Synchrotron-radiation-based Mössbauer and μ ⁺ SR Studies of Sm ₃ Ru ₄ Ge ₁₃
			2020A2025	BL01B1	筒井 智嗣	

International Journal of Modern Physics B

47134	Masatsugu Oishi	38 (2024) 2440008	2017B1437	BL01B1	大石 昌嗣	Characterization of Ca-doped YCoO ₃ Perovskite-type Oxide as Cathode for Solid Oxide Fuel Cells
			2021A1266	BL01B1	大石 昌嗣	

International Journal of Molecular Sciences

46863	Masayoshi Nakasako	21 (2020) 6638	2002B0152	BL40B2	中迫 雅由	Domain Organization in Plant Blue-Light Receptor Phototropin2 of <i>Arabidopsis thaliana</i> Studied by Small-Angle X-ray Scattering
			2003A0106	BL40B2	中迫 雅由	
			2003B0141	BL40B2	中迫 雅由	
			理研	BL45XU		

International Journal of Multiphase Flow

46777	Gyuhan Bae	170 (2024) 104642	2020A1196	BL40XU	文 石洙	Near-field Plume-to-plume Interaction of Multi-hole GDI Injector under Elevated Ambient Density Conditions
-------	------------	----------------------	-----------	--------	------	--

ISIJ International

46936	Yuji Shigeta	64 (2024) 1162-1171	2022A1031	BL20B2	尾崎 由紀子	Use of X-ray CT Imaging to Quantitatively Analyze the Effects of the Pore Morphology on the Tensile Properties of CP-Ti L-PBF Materials
			2021B1021	BL20B2	尾崎 由紀子	

JCI Insight

46787	Glenn Carrington	8 (2023) e172322	2020A1050	BL40XU	Ochala Julien	Human Skeletal Myopathy Myosin Mutations Disrupt Myosin Head Sequestration
-------	------------------	---------------------	-----------	--------	---------------	--

The Journal of Biological 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
47032	Hridya Valia Madapally	300 (2024) 105542	2022B2522	EM01CT	阿部一啓	Specific Protonation of Acidic Residues Confers K ⁺ Selectivity to the Gastric Proton Pump
			2023B2518	EM01CT	阿部一啓	

Journal of Catalysis

46997	Yuan Jing	416 (2022) 209-221	2020A1695 2021B1840	BL14B2 BL14B2	井元 井元	Promoting Effect of Basic Metal Additives on DeNOx Reactions over Pt-based Three-way Catalysts
-------	-----------	-----------------------	------------------------	------------------	----------	--

The Journal of Chemical Physics

47079	N. M. Chtchelkatchev	159 (2023) 064507	2019A1054	BL10XU	Solozhenko Vladimir	Local Structure, Thermodynamics, and Melting of Boron Phosphide at High Pressures by Deep Learning-driven <i>ab initio</i> Simulations
-------	-------------------------	----------------------	-----------	--------	------------------------	--

Journal of Coordination Chemistry

46831	Koh Sugamata	76 (2023) 1817-1824	2020A0557	BL02B1	菅又 功	A Zirconium-based Metal-organic Framework with Dibenzothiophene Linkers: Synthesis, Structural Analysis, and Gas-adsorption Properties
			2020A0834	BL02B1	西野 龍平	
			2020A1056	BL02B1	笹森 貴裕	
			2020A1644	BL02B1	潘 楊	
			2020A1656	BL02B1	西野 龍平	
			2021A1592	BL02B1	西野 龍平	
			2021A1578	BL02B1	早川 雅大	
			2021B1132	BL02B1	森迫 祥吾	
			2021B1435	BL02B1	村田 理尚	
			2021B1833	BL02B1	成田 皓樹	
			2021B1798	BL02B1	早川 雅大	
			2022A1200	BL02B1	箕浦 真生	
			2022A1354	BL02B1	村田 理尚	
			2022B1626	BL02B1	村田 理尚	
			2022A1705	BL02B1	成田 皓樹	
			2023A1539	BL02B1	森 達哉	
			2023A1771	BL02B1	菅又 功	
			2023A1925	BL02B1	菅又 功	
			2022A1584	BL02B1	森迫 祥吾	

Journal of Dentistry

47076	Xuefei Chen	146 (2024) 105041	2022B1733	BL37XU	陳 雪霏	Enhancement of Mineral Density and Mechanical Properties in Root Caries Treated with Silver Diammine Fluoride and Glass Ionomer Cement, with Emphasis on Silver Ion Distribution
-------	-------------	----------------------	-----------	--------	------	--

Journal of Dynamic Behavior of Materials

47169	Hiroaki Kishimura	(2024) Online published 14 Jun. 2024	2023A8611	BL3	岸村 浩明	Shock-Induced Melting and Recrystallization of MoO ₃ Studied by Dynamic X-Ray Diffraction
			2023A8057	BL3	尾崎 典雅	
			2022A8008	BL3	一柳 光平	

The Journal of General and Applied Microbiology

47091	Akihiro Suzuki	69 (2023) 125-130	2017A8006	BL2	西野 吉則	<i>Thermus thermophilus</i> Polyploid Cells Directly Imaged by X-ray Laser Diffraction
			2017B8061	BL2	西野 吉則	
			2018A8047	BL2	西野 吉則	
			2018B8025	BL2	西野 吉則	
			2019A8023	BL2	西野 吉則	

Journal of Magnesium and Alloys

47184	Yutaka Yoshida	12 (2024) 1911-1917	2019B3688 2021A3688	BL14B1 BL14B1	吉田 裕	Analysis of Deformation Mechanisms in Magnesium Single Crystals using a Dedicated Four-point Bending Tester
-------	-------------------	------------------------	------------------------	------------------	------	---

Journal of Materials Chemistry C

47017	Qin Zhou	12 (2024) 967-973	2022B0599	BL19B2	柴山 直之	Boron Subnaphthalocyanine Additive for Multilocus Passivation of Defects towards Efficient and Stable Perovskite Solar Cells
			2022B1906	BL19B2	柴山 直之	
			2022B1913	BL46XU	柴山 直之	
			2023A1679	BL19B2	柴山 直之	
			2022A1654	BL19B2	柴山 直之	

Journal of Medicinal 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
46836	Hidetomo Yokoo	64 (2021) 15868-15882	2020A6503	BL44XU	有竹 浩介	Discovery of a Highly Potent and Selective Degrader Targeting Hematopoietic Prostaglandin D Synthase via In Silico Design

Journal of Mineralogical and Petrological Sciences

47201	Nozomi M. Kondo	119 (2024) 240220	2021B122	BL04B1	河野 義生	Development of High-speed X-ray Imaging in Multi-anvil Press at the BL04B1 Beamline in SPring-8 for Falling Sphere Viscosity Measurement on Low Viscous Liquid at High Pressure Conditions
			2019A0069	BL04B1	河野 義生	

Journal of Morphology

47107	Azuma Kawata	285 (2024) e21712	2023A1173	BL20B2	松村 洋子	Morphology of the Pterothoracic Musculature in Paraneoptera and its Phylogenetic Implication (Insecta: Neoptera)
			2022A1201	BL20XU	吉澤 和徳	
			2016A1269	BL47XU	Blanke Alexander	
			2017B1712	BL47XU	小川 直記	
			2018B1688	BL47XU	小川 直記	
			2018B1725	BL20B2	小川 直記	

The Journal of Physical Chemistry A

47010	Tiffany Walmsley	128 (2024) 4548-4560	2021A8038	BL1	Forbes Ruaridh	The Role of Momentum Partitioning in Covariance Ion Imaging Analysis
-------	------------------	-------------------------	-----------	-----	----------------	--

The Journal of Physical Chemistry Letters

47094	Tomoya Inoue	15 (2024) 5376-5381	2022A1486	BL01B1	中嶋 敦	Extended X-ray Absorption Fine Structure (EXAFS) Measurements on Alkali Metal Superatoms of Ta-Atom-Encapsulated Si ₁₆ Cage
			2022A1008	BL01B1	正井 博和	

Journal of Physics: Condensed Matter

47143	Yukio Kajihara	36 (2024) 345401	2017B1426	BL04B2	梶原 行夫	Existence of Density Inhomogeneity of Liquid Te Associated with Liquid-liquid Phase Transition
-------	----------------	---------------------	-----------	--------	-------	--

Journal of the European Ceramic Society

47164	David K. Dobesh	44 (2024) 5646-5658	2022A1549	BL04B2	宮崎 秀俊	The Role of Ca/Zr Ratio on the Local Structure and Phase Transitions in Lead-free (Ba,Ca)(Zr,Ti)O ₃
-------	-----------------	------------------------	-----------	--------	-------	--

Journal of the Japan Petroleum Institute

46765	Keiju Wachi	67 (2024) 71-79	2023A1512	BL14B2	矢部 智宏	Oxidative Coupling of Methane under High-pressure Conditions Using a Na ₂ WO ₄ /SiO ₂ Catalyst
-------	-------------	--------------------	-----------	--------	-------	---

Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers

46844	Shu Ashimura	158 (2024) 105121	2020A1360	BL01B1	吉田 真明	In situ Surface-enhanced Infrared Absorption Analysis of the Excited Carrier Transfer from n-type Si Photoelectrode to Pt Oxygen Evolution Cocatalyst by Probing Adsorbed CO Molecules
			2021B1168	BL01B1	吉田 真明	
			2022B1609	BL01B1	吉田 真明	

JPS Conference Proceedings

46906	Rie Naito	30 (2020) 011073	2011B1710	BL47XU	和達 大樹	Electronic Structure of Sr ₃ Fe _{2-x} Co _x O _{7-δ} Studied by Photoemission and X-ray Absorption Spectroscopy
			2014B1011	BL47XU	齋藤 智彦	

Liquid Crystals

46934	Yo Shimizu	(2024) Online published 7 May 2024	2022B1191	BL40B2	内田 欣吾	Dynamic Change of Molecular Conformation Generating a Variation of Liquid Crystalline Phases for Triphenylene Mesogens with Peripheral Alkoxyazobenzenes
			2022A1138	BL40B2	内田 欣吾	
			2021B1122	BL40B2	内田 欣吾	
			2021B1121	BL40B2	内田 欣吾	
			2020A1072	BL40B2	内田 欣吾	
			2019B1077	BL40B2	内田 欣吾	
			2019A1403	BL40B2	内田 欣吾	
			2018B1124	BL40B2	内田 欣吾	
			2018A1207	BL40B2	内田 欣吾	
			2017B1135	BL40B2	内田 欣吾	
			2017A1085	BL40B2	内田 欣吾	

Macromolecular Rapid Communications

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
47028	Yuta Miyamori	(2024) Online published 19 Apr. 2024	2023A1197	BL40B2	平井 智康	Core–Shell Double Gyroids Directed by Selective Solvation for ABC Triblock Terpolymers

Macromolecules

46893	Kaito Nakamura	57 (2024) 4439-4447	2021B1167	BL40B2	井田 大地	Solution Properties of Amphiphilic Alternating Copolymers of N-Ethylmaleimide and 2-Hydroxyethyl Vinyl Ether: Thermoresponsiveness in Alcohols and Cosolvency Phenomenon in Binary Ethanol/Water Solutions
			2022B1160	BL40B2	井田 大地	

Materials

47087	Rostislav Velichko	15 (2022) 334	2018B1669	BL47XU	曲 勇作	Defect Passivation and Carrier Reduction Mechanisms in Hydrogen-Doped In-Ga-Zn-O (IGZO:H) Films upon Low-Temperature Annealing for Flexible Device Applications
			2019B1746	BL47XU	曲 勇作	

Materials Advances

47063	Shogo Yamazaki	4 (2023) 1637-1647	2021B1874	BL46XU	駒場 慎一	High-performance SiO Electrodes for Lithium-ion Batteries: Merged Effects of a New Polyacrylate Binder and an Electrode-maturation Process
			2022A1657	BL46XU	駒場 慎一	
			2022B1838	BL46XU	駒場 慎一	

Materials Research Express

46781	Shunsuke Tsuda	10 (2023) 055506	2021A7421	BL07LSU	久富 隆史	Effect of Carrier Doping on the Electronic States of Earth-abundant Fe–Al–Si Thermoelectric Materials
			2021A7422	BL07LSU	永村 直佳	
			2021B7433	BL07LSU	高際 良樹	
			2021B7435	BL07LSU	永村 直佳	
			2022A7444	BL07LSU	高際 良樹	

Materials Today

46909	He Qi	60 (2022) 91-97	2019B1120	BL44B2	Chen Jun	Large (Anti)ferrodistortive NaNbO ₃ -based Lead-free Relaxors: Polar Nanoregions Embedded in Ordered Oxygen Octahedral Tilt Matrix
			2020A1052	BL44B2	Chen Jun	
			2020A1054	BL44B2	Chen Jun	

Materials Transactions

47163	Hidetoshi Miyazaki	64 (2023) 1194-1198	2021A1458	BL47XU	宮崎 秀俊	Investigation of the Electronic Structure of the Mg _{99.2} Zn _{0.2} Y _{0.6} Alloy Using X-ray Photoelectron Spectroscopy
-------	--------------------	------------------------	-----------	--------	-------	---

Microporous and Mesoporous Materials

46916	Yuto Higuchi	374 (2024) 113137	2023A1677	BL02B2	田中 俊輔	Rapid Synthesis of Metal-organic Framework CALF-20 in H ₂ O/Methanol Solution under Room Temperature and Normal Pressure
-------	--------------	----------------------	-----------	--------	-------	---

Molecular Cell

46952	Masatoshi Hara	83 (2023) 2188-2205	2018B2716	BL26B1	有吉 真理子	Centromere/Kinetochore is Assembled through CENP-C Oligomerization
-------	----------------	------------------------	-----------	--------	--------	--

Nanomaterials

47179	Lisa Randolph	14 (2024) 1050	2019B8076	BL2	中堤 基彰	(Sub-)Picosecond Surface Correlations of Femtosecond Laser Excited Al-Coated Multilayers Observed by Grazing-Incidence X-ray Scattering
-------	---------------	-------------------	-----------	-----	-------	---

Nature

47018	Bin Ding	628 (2024) 299-305	2022B0599	BL19B2	柴山 直之	Dopant-additive Synergism Enhances Perovskite Solar Modules
			2022A1654	BL19B2	柴山 直之	
			2022A1822	BL19B2	柴山 直之	

Nature Catalysis

46833	Naonari Sakamoto	7 (2024) 574-584	2019B7038	BL33XU	坂本 直柔	Dinuclear Cu(I) Molecular Electrocatalyst for CO ₂ -to-C ₃ Product Conversion
			2020A7038	BL33XU	坂本 直柔	
			2021A7038	BL33XU	坂本 直柔	
			2021B7038	BL33XU	坂本 直柔	
			2022A7038	BL33XU	坂本 直柔	
			2022B7038	BL33XU	坂本 直柔	

Nature Chemical Biology

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
46802	Hengxin Fan	15 (2019) 27-33	2016A2517	BL41XU	Zhao Qiang	Structural Basis for Ligand Recognition of the Human Thromboxane A ₂ Receptor
			2016A2518	BL41XU	Wu Beili	

Nature Chemistry

47138	Daoping He	(2024) Online published 24 May 2024	2021A1664	BL14B2	中村 龍平	Copper Sulfide Mineral Performs Non-enzymatic Anaerobic Ammonium Oxidation through a Hydrazine Intermediate
			2021B1920	BL14B2	中村 龍平	
			2022A1045	BL14B2	中村 龍平	
			2022A1669	BL14B2	足立 精宏	
			理研	BL17SU		

Nature Materials

47027	Fumitaka Takeiri	21 (2022) 325-330	2016A1673	BL19B2	渡邊 明尋	Hydride-ion-conducting K ₂ NiF ₄ -type Ba-Li Oxyhydride Solid Electrolyte
			2016B1767	BL19B2	渡邊 明尋	
			2018B1099	BL02B2	竹入 史隆	

Nature Photonics

46847	Jumpei Yamada	18 (2024) 685-690	2020A8131	BL3	山内 和人	Extreme Focusing of Hard X-ray Free-Electron Laser Pulses Enables 7 nm Focus Width and 10 ²² W cm ⁻² Intensity
			2021A8049	BL3	山内 和人	
			2021B8035	BL3	山内 和人	
			2022A8033	BL3	山内 和人	
			2022B8032	BL3	山田 純平	
			2023A8045	BL3	山田 純平	

Optics Express

47052	Takuto Ishikawa	32 (2024) 18301-18316	2022B8027	BL2	木村 隆志	Sub-photon Accuracy Noise Reduction of a Single Shot Coherent Diffraction Pattern with an Atomic Model Trained Autoencoder
			2019B8050	BL2	木村 隆志	
			2020A8044	BL2	木村 隆志	
			2021B8063	BL2	木村 隆志	

Philosophical Magazine

47165	Ali Ezircan	104 (2024) 519-536	2022B1663	BL01B1	宮崎 秀俊	Electronic and Magnetic Properties of Boron Substituted CuFeO ₂ Delafossite Oxide
			2022B1664	BL02B2	宮崎 秀俊	

Physica Status Solidi B

46770	Kairi Fujii	259 (2022) 2100539	2016B7608	BL28XU	松原 英一郎	Development of an Electrochemical Cell for In Operando Characterization of Lithium/Electrolyte Interface Using X-ray Total Reflection
			2017A7608	BL28XU	松原 英一郎	
			2017B7608	BL28XU	松原 英一郎	
			2018A7608	BL28XU	松原 英一郎	
			2018B7608	BL28XU	松原 英一郎	
			2019A7616	BL28XU	安部 武志	
			2019B7616	BL28XU	安部 武志	
			2020A7616	BL28XU	安部 武志	

Physical Review A

47057	Felix Allum	108 (2023) 043113	2021A8038	BL1	Forbes Ruaridh	Direct Momentum Imaging of Charge Transfer Following Site-selective Ionization
-------	-------------	----------------------	-----------	-----	----------------	--

Physics and Chemistry of Minerals

47119	Izumi Mashino	51 (2024) 20	2022A3595	BL11XU	増野 いづみ	Electrical Conductivity of Siderite and the Effect of the Spin Transition of Iron
			2022B3595	BL11XU	増野 いづみ	
			2023A3595	BL11XU	増野 いづみ	
			2023B3584	BL11XU	増野 いづみ	

Physics in Medicine and Biology

47049	Ronan Smith	69 (2024) 105025	2022A1077	BL20XU	Donnelley Martin	Ultra-fast <i>in vivo</i> Directional Dark-field X-ray Imaging for Visualising Magnetic Control of Particles for Airway Gene Delivery
			2022B1169	BL20XU	Donnelley Martin	
			2023A1212	BL20XU	Donnelley Martin	
			2023B1272	BL20XU	Donnelley Martin	

Physics of Fluids

46776	Omer Faruk Atac	35 (2023) 045102	2020A1196	BL40XU	文 石洙	Detecting Ultrafast Turbulent Oscillations in Near-nozzle Discharged Liquid Jet using X-ray Phase-contrast Imaging with MHz Frequency
-------	-----------------	---------------------	-----------	--------	------	---

Physics of the Earth and Planetary Interiors

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
46951	Naoki Takahashi	350 (2024) 107167	2019A1117	BL04B1	坂巻 竜也	Elastic Wave Velocity Measurements of Sodium Aluminosilicate Glass and Melt at High Pressure and Temperature
			2020A1750	BL04B1	坂巻 竜也	
			2020A1085	BL04B1	坂巻 竜也	
			2021A1109	BL04B1	坂巻 竜也	
			2022B1148	BL04B1	坂巻 竜也	

PLoS Biology

47072	Mai Ikei	22 (2024) e3002601	2020A2564 2021A2745 2022A2738 2023A2727	BL32XU BL32XU BL32XU BL32XU	塙崎 智也 塙崎 智也 塙崎 智也 塙崎 智也	YeeD is an Essential Partner for YeeE-mediated Thiosulfate Uptake in Bacteria and Regulates Thiosulfate Ion Decomposition

Polymer Chemistry

47051	Daichi Yoshida	14 (2023) 3277-3285	2021B1844 2021A1593	BL19B2 BL40B2	吉田 大地 河合 優作	Preparation of Mechanically Tough Poly(dimethyl siloxane) through the Incorporation of Acetylated Cyclodextrin-Based Topologically Movable Cross-links
-------	-------------------	------------------------	------------------------	------------------	----------------	--

Polymer Testing

46811	Asae Ito	128 (2023) 108208	2021B1351 2022B1276	BL40B2 BL40B2	比江嶋 祐介 伊藤 麻絵	Structural and Morphological Changes at Initial State under Uniaxial Elongation of Rolled Polytetrafluoroethylene
-------	----------	----------------------	------------------------	------------------	-----------------	---

Precision Chemistry

47129	Hiroki Yoshimura	2 (2024) 221-228	2021A1080 2022B1151 2023A1264	BL40XU BL40XU BL40XU	久木 一朗 久木 一朗 久木 一朗	A Hydrogen-Bonded, Hexagonally Networked, Layered Framework with Large Aperture Designed by Structural Synchronization of a Macrocycle and Supramolecular Synthon
-------	---------------------	---------------------	-------------------------------------	----------------------------	-------------------------	---

Proceedings of SPIE

47019	Takenori Shimamura	12240 (2022) 1224004	2021A1612	BL25SU	島村 勇徳	Design of Soft X-ray Fluorescence Microscopy beyond 100-nm Spatial Resolution with Ultrashort Kirkpatrick-Baez Mirror
-------	-----------------------	-------------------------	-----------	--------	-------	---

The Protein Journal

46961	Changyu Zhang	43 (2024) 283-297	2022A6721	BL44XU	永田 宏次	Refolding, Crystallization, and Crystal Structure Analysis of a Scavenger Receptor Cysteine-Rich Domain of Human Salivary Agglutinin Expressed in <i>Escherichia coli</i>
-------	------------------	----------------------	-----------	--------	-------	---

RSC Applied Interfaces

46823	Kotaro Ito	1 (2024) 790-799	2018A3635 2018B3635 2022B3741	BL14B1 BL14B1 BL22XU	菅野 了次 菅野 了次 平山 雅章	Degradation of a Lithium Cobalt Oxide Cathode under High Voltage Operation at an Interface with an Oxide Solid Electrolyte
-------	------------	---------------------	-------------------------------------	----------------------------	-------------------------	--

Science

46963	Ailong Li	384 (2024) 666-670	2021A1664	BL44B2	中村 龍平	Atomically Dispersed Hexavalent Iridium Oxide from MnO ₂ Reduction for Oxygen Evolution Catalysis
			2021B1892	BL44B2	足立 精宏	
			2022A1761	BL44B2	中村 龍平	
			2022A1776	BL44B2	足立 精宏	
			2022B1667	BL44B2	足立 精宏	
			2023B1661	BL44B2	足立 精宏	
			2023A1395	BL44B2	足立 精宏	
			2023A1431	BL36XU	足立 精宏	
			2023B1372	BL36XU	足立 精宏	
			理研	BL17SU		
			理研	BL44B2		

Science and Technology of Advanced Materials: Methods

46926	Kentaro Kutsukake	4 (2024) 2336402	2016A3553	BL11XU	佐々木 拓生	Feature Extraction and Spatial Imaging of Synchrotron Radiation X-ray Diffraction Patterns using Unsupervised Machine Learning
			2017A3553	BL11XU	佐々木 拓生	
			2017B3553	BL11XU	佐々木 拓生	
			2018A3553	BL11XU	佐々木 拓生	
			2018A3585	BL11XU	沓掛 健太郎	
			2018B3553	BL11XU	佐々木 拓生	
			2018B3587	BL11XU	世木 隆	
			2019A3587	BL11XU	沓掛 健太郎	
			2019B3586	BL11XU	世木 隆	
			2020A3586	BL11XU	世木 隆	

The Science of Nature

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
46779	Zixin Cheng	110 (2023) 26	2017B1712	BL47XU	小川 直記	Are Males Just Passive? Coupling Mechanism of the Brazilian Cave Insects with Inverted Genitalia
			2018B1725	BL20B2	小川 直記	
			2016A1269	BL47XU	Blanke Alexander	

Sensors and Materials

47200	Yoshifumi Takahashi	36 (2024) 2557-2568	2021B1529	BL40B2	中沢 寛光	Analysis of Correlation between Electron Diffraction Images of Corneocytes and Skin Barrier Properties by Multilayer Perceptron and Convolutional Neural Network
			2021A1407	BL43IR	中沢 寛光	
			2021B1552	BL43IR	中沢 寛光	
			2022A7202	BL03XU	中沢 寛光	

Small

46813	Naoya Haraguchi	19 (2023) 2300743	2022A1532	BL01B1	山添 誠司	Size-Controlled Synthesis of Luminescent Few-Atom Silver Clusters via Electron Transfer in Isostructural Redox-Active Porous Ionic Crystals
			2022A1627	BL01B1	吉川 聰一	
			2021B1373	BL01B1	山添 誠司	
			2021B1535	BL01B1	吉川 聰一	

Sustainable Energy & Fuels

47142	Kohei Era	8 (2024) 2593-2600	2022B1920	BL01B1	佐藤 勝俊	Barium-doped Iron Nanoparticles Supported on MgO as an Efficient Catalyst for Ammonia Synthesis under Mild Reaction Conditions
			2023B1679	BL01B1	佐藤 勝俊	

Virology

46845	Hanako Ishimaru	98 (2024) e00416-24	2023A0205	EM01CT	山本 雅貴	Epitopes of an Antibody that Neutralizes a Wide Range of SARS-CoV-2 Variants in a Conserved Subdomain 1 of the Spike Protein
-------	--------------------	------------------------	-----------	--------	-------	--

Zoological Science

47113	Takanori Ikenaga	41 (2024) 281-289	2013A1161	BL20XU	池永 隆徳	Volume X-Ray Micro-Computed Tomography Analysis of the Early Cephalized Central Nervous System in a Marine Flatworm, <i>Stylochoplana pusilla</i>
			2013A1547	BL20XU	坂本 浩隆	

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

46902	Kenji Suzuki	73 (2024) 286-292	2023A3684	BL14B1	鈴木 賢治	Diffraction Angle Determination Using Cross-Correlation Algorithm for Double Exposure Method
			2023A5050	BL16XU	野口 真一	

繊維学会誌 (Journal of the Society of Fiber Science and Technology, Japan)

47182	Atsushi Takahara	80 (2024) 152-157	2019A1585	BL43IR	高原 淳	Environmental Degradation of Fibers and Polymeric Materials
			2020A0570	BL43IR	高原 淳	
			2021A1173	BL43IR	高原 淳	

日本金属学会誌 (The Journal of the Japan Institute of Metals and Materials)

46878	Yuuto Masunari	87 (2023) 249-257	2020A1632	BL19B2	鳥塚 史郎	Relationship between Grain Refinement, Carbon Content and Austenite Stability Resulting in High Yield Point of 1600 MPa and Huge Lüders Deformation in SUS301 Steel
			2020A1813	BL19B2	鳥塚 史郎	
			2021A1655	BL19B2	鳥塚 史郎	
			2021B1934	BL46XU	鳥塚 史郎	

日本文化財科学会第33回大会要旨集

47152	Manako Tanaka	(2016) 18-19	2012B1484	BL37XU	田中 真奈子	Microstructure Analysis of Japanese Pipe-shaped Bengara, Red Pigment Excavated from Kusakari Site in Chiba Prefecture to Clarify its Origin
			2013A1268	BL37XU	田中 真奈子	
			2013B1043	BL37XU	田中 真奈子	
			2016A1700	BL47XU	田中 真奈子	

ミルクサイエンス (Milk Science)

46932	Hideaki Takagi	73 (2024) 3-10	2022A1230	BL40B2	高木 秀彰	Evaluation of a Casein Micelle Structure using Neutron Small-angle Scattering
			2022B1142	BL40B2	高木 秀彰	

博士論文 (総合研究大学院大学)

47002	Tasuku Uchimura	(2023)	2019A1084	BL02B2	竹入 史隆	Study on Materials Processing for Barium Titanium Oxyhydride with Hydride Ion and Electron Mixed Conductivity
			2020A1659	BL02B2	岡本 啓	
			2021B1785	BL02B2	内村 祐	
47022	Kei Okamoto	(2023)	2020A1659	BL02B2	岡本 啓	Effects of Compositions and Sintering Process on Phase Transition Behavior and Hydride Ion Conducting Property in K_2NiF_4 -type Ba-Li Oxyhydride

博士論文 (University of Kiel)

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
47080	Amdt Quer	(2018)	2015A1540	BL47XU	Rossmagel Kai	Spectroscopic and Microscopic Investigation of Phase Transitions in Strongly Correlated Transition Metal Compounds

博士論文 (大阪公立大学)

47048	Naoya Yoshikane	(2024)	2019B4253	BL12XU	Prassides Kosmas	Mixed-valence Rare-earth Fullerenes, RE _{2.75} C ₆₀ : Coupling of Lattice and Electronic Degrees of Freedom
			2021A4254	BL12XU	Prassides Kosmas	
			2022B4252	BL12XU	Prassides Kosmas	
			2021B1809	BL10XU	芳鐘 順也	
			2022B0616	BL02B2	芳鐘 順也	
			2023B2101	BL02B2	芳鐘 順也	
			2021A1587	BL02B2	芳鐘 順也	
			2022A1699	BL10XU	芳鐘 順也	

博士論文 (筑波大学)

46801	Atsushi Ejima	(2024)	2022B1587	BL19B2	廣沢 一郎	Investigation on Genome Prediction using DNA Information in Cedar Crossbreeding.
			2023A1518	BL19B2	廣沢 一郎	
			2023B1567	BL19B2	廣沢 一郎	

博士論文 (東京大学)

46806	Takumi Yomogida	(2023)	2021A1610	BL37XU	蓬田 匠	Environmental Geochemistry of Uranium Based on Chemical-state Analysis by Advanced X-ray Spectroscopy
			2021B1821	BL39XU	蓬田 匠	
			2022A1733	BL39XU	蓬田 匠	
			2020A0174	BL37XU	高橋 嘉夫	
			2021B1625	BL37XU	高橋 嘉夫	
			2018A0148	BL37XU	高橋 嘉夫	

博士論文 (広島大学)

47175	Tomoki Yoshikawa	(2021)	2016B3842	BL23SU	木村 昭夫	Light- and Spin- induced Electronic Structures of Novel Topological Materials
-------	------------------	--------	-----------	--------	-------	---

博士論文 (明治大学)

46995	Tappei Nishihara	(2023)	2019B1902	BL46XU	神岡 武文	Study on Development of Novel Transparent Conductive Oxide Film for High Conversion Efficiency in Tandem Solar Cell with Crystalline Silicon Bottom Cell
			2020A1848	BL46XU	西原 達平	
			2021A1616	BL46XU	西原 達平	
			2021A1662	BL46XU	原 知彦	
			2021B1906	BL46XU	西原 達平	
			2022A1785	BL46XU	西原 達平	
			2022A1651	BL46XU	安野 聰	
			2022A1774	BL46XU	安野 聰	
			2022B1627	BL46XU	安野 聰	
			2022B1878	BL46XU	安野 聰	

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	
46913	Marcel Bokhove	300 (2024) 107289	理研	BL26B1	The Structure of the Rat Vitamin B ₁₂ Transporter TC and its Complex with Glutathionylcobalamin
46947	Zakaria Omahdi	295 (2020) 5807-5817		BL45XU	Structural Insight into the Recognition of Pathogen-derived Phosphoglycolipids by C-type Lectin Receptor DCAR
47168	Keisuke Izuhara	295 (2020) 11643-11655		BL38B1	A Lynch Syndrome-associated Mutation at a Bergerat ATP-binding Fold Destabilizes the Structure of the DNA Mismatch Repair Endonuclease MutL

Biochemistry

47120	Han-Kai Jiang	59 (2020) 2205-2209	理研	BL32XU	Probing the Active Site of Deubiquitinase USP30 with Noncanonical Tryptophan Analogues
47167	Seiya Watanabe	59 (2020) 2962-2973		BL38B1	Biochemical and Structural Characterization of L-2-Keto-3-deoxyarabinonate Dehydratase: A Unique Catalytic Mechanism in the Class I Aldolase Protein Superfamily

IUCrJ

研究成果番号	主著者	雑誌情報		ビームライン	タイトル
46820	Yueming Xu	6 (2019) 996-1006		BL41XU	Mutagenesis Facilitated Crystallization of GLP-1R
47058	Asmit Bhowmick	10 (2023) 642-655		SACLA	Going around the Kok Cycle of the Water Oxidation Reaction with Femtosecond X-ray Crystallography

The Journal of Biochemistry

46827	Koji Nagata	167 (2020) 1-14		BL41XU	Crystal Structure of the Complex of the Interaction Domains of <i>Escherichia coli</i> DnaB Helicase and DnaC Helicase Loader: Structural Basis Implying a Distortion-Accumulation Mechanism for the DnaB Ring Opening Caused by DnaC Binding
47108	Yoshinori Shibanuma	168 (2020) 223-229	理研	BL26B2	Crystal Structure of Adenylate Kinase from an Extremophilic Archaeon <i>Aeropyrum permix</i> with ATP and AMP

Nature Communications

46911	Kyoko Hanawa-Suetsugu	10 (2019) 4763	理研	BL32XU	Phagocytosis is Mediated by Two-dimensional Assemblies of the F-BAR Protein GAS7	
				BL38B1		
				BL44XU		
47141	Keisuke Mochida	11 (2020) 3306	理研	BL32XU	Super-assembly of ER-phagy Receptor Atg40 Induces Local ER Remodeling at Contacts with Forming Autophagosomal Membranes	

Proceedings of SPIE

47068	Yuji Hosaka	12498 (2023) 1249827		SACLA	Study on Irradiation Effects by Femtosecond-pulsed Extreme Ultraviolet in Resist Materials
47071	Hiroto Motoyama	PC12694 (2023) PC1269408	装置&技術	BL1	Two-stage Soft X-ray Focusing System Developed at BL1 of SACLA

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

47070	Eito Iwai	20 (2023) 90-99		SACLA	Effective Accelerator Operation Based on Machine Learning at SACLA
47084	Takamitsu Seike	20 (2023) 35-42	加速器	BL1	Radiation Damage of SPring-8/SACLA Undulators and Its Countermeasures

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

46949	Eriko Nango	64 (2022) 290-293	装置&技術	SACLA	Molecular Movies using X-ray Free Electron Lasers: Recent Advances and Future Prospects
46950	Kiyofumi Takaba	64 (2022) 115-116	装置&技術	over all	Crystallographic Chemistry with Electron and Synchrotron Beam Sources

Acta Crystallographica Section D

47081	Kunio Nakata	79 (2023) 290-303		BL3	Ambient Temperature Structure of Phosphoketolase from <i>Bifidobacterium longum</i> Determined by Serial Femtosecond X-ray Crystallography
-------	--------------	----------------------	--	-----	--

Advanced Energy and Sustainability Research

46769	Yasuhiro Takabayashi	3 (2022) 2200020	理研	BL32B2	Study of Behavior of Supporting Electrolyte Ion of Fluoride Shuttle Battery Using Anomalous X-Ray Scattering
-------	----------------------	---------------------	----	--------	--

Applied and Environmental Microbiology

46821	Kouta Takeda	85 (2019) e01692-19		BL41XU	Crystal Structure of the Catalytic and Cytochrome b Domains in a Eukaryotic Pyrroloquinoline Quinone-Dependent Dehydrogenase
-------	--------------	------------------------	--	--------	--

Applied Physics Express

46848	Shotaro Matsumura	17 (2024) 016001	装置&技術	SACLA	High-pressure Plasma Etching up to 9 atm toward Uniform Processing Inside Narrow Grooves of High-precision X-ray Crystal Optics
-------	-------------------	---------------------	-------	-------	---

Chemical Communications

47147	K. Minamihata	56 (2020) 3891-3894		BL38B1	Genetically Fused Charged Peptides Induce Rapid Crystallization of Proteins
-------	---------------	------------------------	--	--------	---

Chemical Research in Toxicology

47101	Keitaro Suyama	33 (2020) 889-902		BL38B1	Evaluation of the Influence of Halogenation on the Binding of Bisphenol A to the Estrogen-Related Receptor γ
-------	----------------	----------------------	--	--------	--

Current Opinion in Structural Biology

研究成果番号	主著者	雑誌情報	ビームライン	タイトル
47082	Eriko Nango	81 (2023) 102629	SACLA	Recent Progress in Membrane Protein Dynamics Revealed by X-ray Free Electron Lasers: Molecular Movies of Microbial Rhodopsins

The FASEB Journal

46903	Emmanuel Balogun	33 (2019) 13002-13013	理研	BL44XU	Discovery of Trypanocidal Coumarins with Dual Inhibition of Both the Glycerol Kinase and Alternative Oxidase of <i>Trypanosoma brucei brucei</i>
-------	------------------	--------------------------	----	--------	--

iScience

46922	Yuki Nakamura	21 (2019) 577-586		BL44XU	High-Resolution Crystal Structure of Arabidopsis FLOWERING LOCUS T Illuminates Its Phospholipid-Binding Site in Flowering
-------	---------------	----------------------	--	--------	---

Journal of Materials Chemistry B

46897	Ryosuke Funaki	8 (2020) 1139-1145		BL41XU	Genetically Engineered Haemoglobin Wrapped Covalently with Human Serum Albumins as an Artificial O ₂ Carrier
-------	----------------	-----------------------	--	--------	---

Journal of Medicinal Chemistry

47109	Fumiuki Shirai	63 (2020) 4183-4204	理研	BL26B2	Design and Discovery of an Orally Efficacious Spiroindolinone-Based Tankyrase Inhibitor for the Treatment of Colon Cancer
-------	----------------	------------------------	----	--------	---

Journal of Molecular Graphics and Modelling

47104	Daisuke Takaya	99 (2020) 107599	理研	BL26B2	Protein Ligand Interaction Analysis against New CaMKK2 Inhibitors by Use of X-ray Crystallography and the Fragment Molecular Orbital (FMO) Method
-------	----------------	---------------------	----	--------	---

Journal of Synchrotron Radiation

47069	Eito Iwai	30 (2023) 1048-1053	装置&技術	BL1	Spectral-Brightness Optimization of an X-ray Free-Electron Laser by Machine-Learning-Based Tuning
			装置&技術	BL2	
			装置&技術	BL3	

Journal of the American Chemical Society

47059	Margaret D. Doyle	145 (2023) 14621-14635		SACLA	Water Networks in Photosystem II Using Crystalline Molecular Dynamics Simulations and Room-Temperature XFEL Serial Crystallography
-------	-------------------	---------------------------	--	-------	--

Optica

47105	Satoru Egawa	11 (2024) 736-743		BL1	Observation of Mammalian Living Cells with Femtosecond Single Pulse Illumination Generated by a Soft X-ray Free Electron Laser
-------	--------------	----------------------	--	-----	--

Physical Review Letters

47093	Takashi Tanaka	131 (2023) 145001	装置&技術	SACLA	Experimental Demonstration to Control the Pulse Length of Coherent Undulator Radiation by Chirped Microbunching
-------	----------------	----------------------	-------	-------	---

Protein & Cell

46898	Shuhui Wang	11 (2020) 124-137		BL41XU	Structural Insights into Substrate Recognition by the Type VII Secretion System
-------	-------------	----------------------	--	--------	---

Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics

47139	Riki Imaizumi	89 (2021) 126-131	理研	BL32XU	Crystal Structure of Chalcone Synthase, a Key Enzyme for Isoflavonoid Biosynthesis in Soybean
-------	---------------	----------------------	----	--------	---

Review of Scientific Instruments

47067	Satoru Egawa	94 (2023) 053707		SACLA	Figure Correction of a Wolter Mirror Master Mandrel by Organic Abrasive Machining
-------	--------------	---------------------	--	-------	---

博士論文 (University of Gothenburg)

46948	Andrea Cellini	(2022)		XFEL	Structural Characterization of Electron Transfer in <i>D.m</i> (6-4) Photolyase by Time-resolved X-ray Crystallography
47096	Owens Uwangue	(2023)		BL3	Microcrystallization and Structural Studies of Proteins by Serial Crystallography and X-ray Scattering
47097	Doris Zoric	(2023)		BL3	Structural Studies of <i>bas</i> -type Cytochrome c Oxidase using Serial Crystallography and X-ray Absorption Spectroscopy

SPring-8/SACLA 研究成果公表 論文サイテーション数調査 -2024-

公益財団法人高輝度光科学的研究センター
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：2024/04/01

SPring-8	1989-2024 ² (総累積)			2013-2023 (11年間累積)			2022 (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	17,685	556,854	31.5	9,794	219,548	22.4	770	4,554	5.9
共用 BL ^{3*4}	12,311	400,004	32.5	6,790	155,738	22.9	555	3,606	6.5
専用 BL ^{3*4}	4,310	119,307	27.7	2,747	55,113	20.1	213	898	4.2
理研 BL ^{3*4}	2,224	85,256	38.3	1,121	28,523	25.4	55	512	9.3
その他 (技術開発等)	179	2,779	15.5	22	54	2.5	3	4	1.3

SACLA	2006-2024 ² (総累積)			2013-2023 (11年間累積)			2022 (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	555	17,077	30.8	488	13,664	28.0	38	177	4.7
BL1, 2, 3	380	12,926	34.0	377	11,487	30.5	32	159	5.0
その他 (技術開発等)	186	5,868	31.5	121	2,591	21.4	6	18	3.0

●集計対象 BL³

共用 BL — 計 26 本

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

専用 BL — 計 20 本

BL03XU BL07LSU⁴ BL08B2 BL11XU BL12XU BL12B2 BL14B1 BL15XU⁴ BL16XU⁴ BL16B2⁴ BL22XU
BL23SU BL24XU BL28XU BL31LEP BL32B2⁴ BL33XU BL33LEP⁴ BL36XU⁴ BL44XU

理研 BL — 計 11 本

BL05XU BL17SU BL19LXU BL26B1 BL26B2 BL29XU BL32XU BL38B2 BL43LXU BL44B2 BL45XU⁴

●備考

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

*2：2024 年は、2024 年 1 月 1 日から 2024 年 3 月 31 日までに発行された論文を集計対象とした。それ以外は、各年 1 月 1 日から 12 月 31 日までに発行された論文を集計対象とした。

*3：複数の BL に関連する成果は、それぞれの集計値に重複して集計した。

*4：共用・専用・理研の変更があった次の BL については、変更前のカテゴリに含めた。

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

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

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

調査日：2024/04/01

SPring-8	1989-2024 ² (総累積)			2013-2023 (11年間累積)			2022 (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	17,685	10.8%	1.5%	9,722	10.0%	1.6%	770	8.4%	1.9%
共用 BL ^{3*4}	12,311	11.4%	1.6%	6,790	10.7%	1.6%	555	10.8%	2.2%
専用 BL ^{3*4}	4,310	8.5%	1.5%	2,747	7.5%	1.5%	213	2.3%	1.4%
理研 BL ^{3*4}	2,224	12.3%	1.3%	1,121	12.3%	1.2%	55	10.9%	3.6%

SACLA	2006-2024 ² (総累積)			2013-2023 (11年間累積)			2022 (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	555	14.6%	2.7%	488	15.4%	2.5%	38	10.5%	0.0%
BL1, 2, 3	380	17.6%	3.2%	377	17.2%	2.9%	32	9.4%	0.0%

●集計対象 BL³

共用 BL —— 計 26 本

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

専用 BL —— 計 20 本

BL03XU BL07LSU⁴ BL08B2 BL11XU BL12XU BL12B2 BL14B1 BL15XU⁴ BL16XU⁴ BL16B2⁴ BL22XU
 BL23SU BL24XU BL28XU BL31LEP BL32B2⁴ BL33XU BL33LEP⁴ BL36XU⁴ BL44XU

理研 BL —— 計 11 本

BL05XU BL17SU BL19LXU BL26B1 BL26B2 BL29XU BL32XU BL38B2 BL43LXU BL44B2 BL45XU⁴

●備考

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

*2：2024年は、2024年1月1日から2024年3月31日までに発行された論文を集計対象とした。それ以外は、各年1月1日から12月31日までに発行された論文を集計対象とした。

*3：複数のBLに関連する成果は、それぞれの集計値に重複して集計した。

*4：共用・専用・理研の変更があった次のBLについては、変更前のカテゴリに含めた。

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

3. SPring-8 利用の年別発行総論文数と 2024 年 4 月における平均被引用数 (2013-2023)

調査日：2024/04/01

SPring-8	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
年別発行論文数 ¹	961	880	878	1,000	986	892	992	1,017	888	770	535
累積被引用数 ²	32,523	29,913	28,359	31,947	24,667	20,501	22,308	14,492	8,980	4,554	812
平均被引用数 [累積被引用数／年別発行論文数]	33.8	34.0	32.3	31.9	25.0	23.0	22.5	14.7	10.1	5.9	1.5



●備考

*1：成果登録 DB に登録された原著論文／博士論文／査読付きプロシーディングで、Clarivate Analytics 社 InCites Benchmarking を用い、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。

4. SACLA 利用の年別発行総論文数と 2024 年 4 月における平均被引用数 (2013-2023)

調査日：2024/04/01

SACLA	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
年別発行論文数 ¹	39	24	48	53	47	41	57	57	51	38	33
累積被引用数 ²	1,495	1,447	3,846	1,682	1,639	849	1,158	788	515	177	68
平均被引用数 [累積被引用数／年別発行論文数]	38.3	60.3	80.1	31.7	34.9	20.7	20.3	13.8	10.1	4.7	2.1

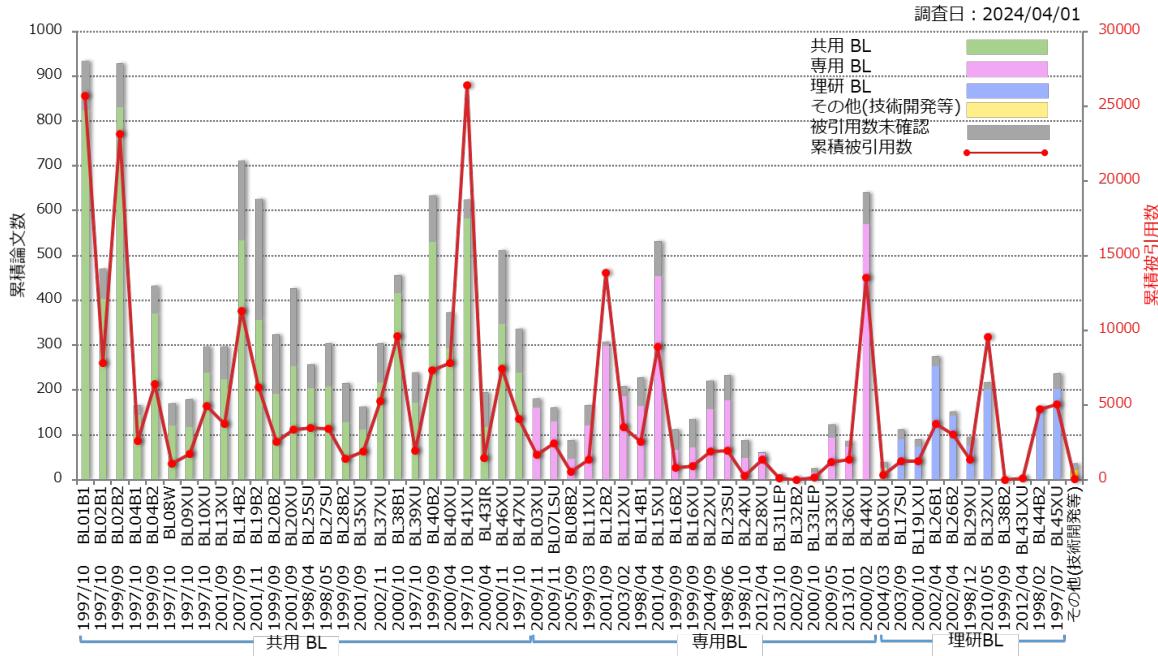


●備考

*1：成果登録 DB に登録された原著論文／博士論文／査読付きプロシーディングで、Clarivate Analytics 社 InCites Benchmarking を用い、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。

5. SPring-8 の BL 別累積論文数と累積被引用数の比較 (2013-2023)



*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。

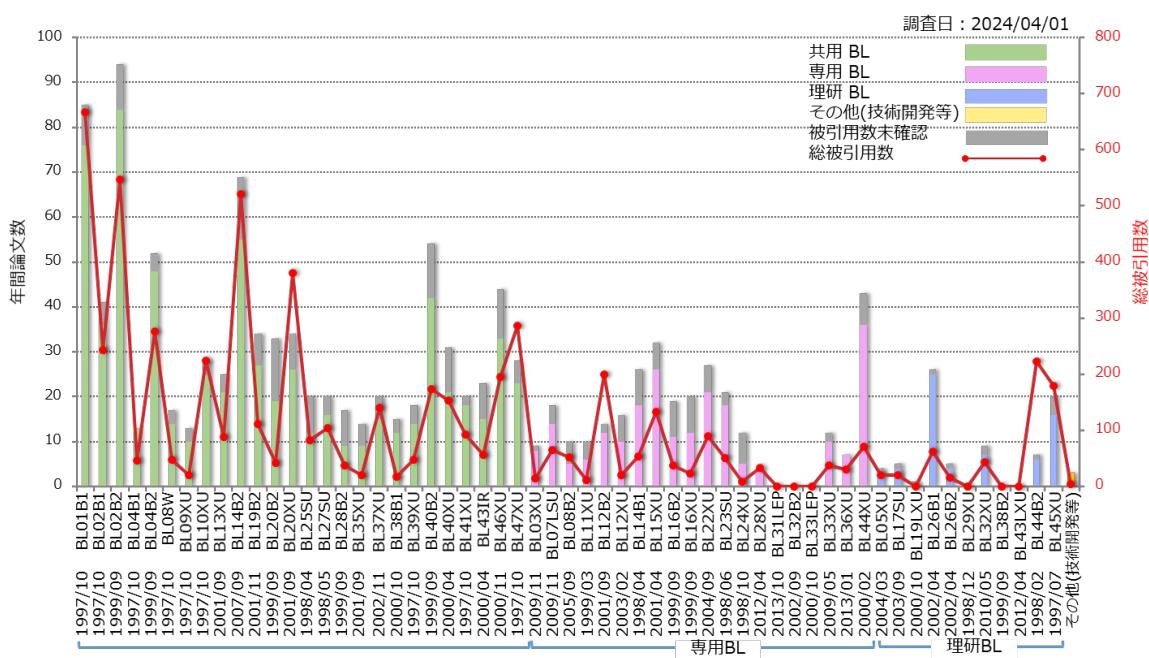
*2：検索 DB (Clarivate Analytics Web of Science) 未登録のため、被引用数が確認出来ない論文は「被引用数未確認」に計上する。

*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。

*4：共用・専用・理研の変更があった次の BL については、変更前のカテゴリに含めた。

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

6. SPring-8 の BL 別年間総論文数と総被引用数の比較 (2022 年の発表論文)



7. 2022 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 (2022)

調査日 : 2024/04/01

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
1 192	BL14B2 BL44B2	Kiyohiro Adachi	Enhancing the stability of cobalt spinel oxide towards sustainable oxygen evolution in acid	Ailong Li	RIKEN	NATURE CATALYSIS
2 165	BL12B2	Hao-Ming Chen	Atomic Metal-Support Interaction Enables Reconstruction-Free Dual-Site Electrocatalyst	Huachuan Sun	Huazhong University of Science and Technology	JOURNAL OF THE AMERICAN CHEMICAL SOCIETY
3 115	BL10XU	Yanming Ma	High-Temperature Superconducting Phase in Clathrate Calcium Hydride CaH ₆ up to 215 K at a Pressure of 172 GPa	Liang Ma	Jilin University	PHYSICAL REVIEW LETTERS
4 105	BL08W BL37XU	Masayuki Uesugi	Samples returned from the asteroid Ryugu are similar to Ivuna-type carbonaceous meteorites	Tetsuya Yokoyama	Tokyo Institute of Technology	SCIENCE
5 102	BL40XU	Takuji Hatakeyama	One-Shot Synthesis of Expanded Heterohelicene Exhibiting Narrowband Thermally Activated Delayed Fluorescence	Kohei Matsui	Kwansei Gakuin University	JOURNAL OF THE AMERICAN CHEMICAL SOCIETY
6 87	BL20XU	Akira Tsuchiyama	Formation and evolution of carbonaceous asteroid Ryugu: Direct evidence from returned samples	Tomoki Nakamura	Tohoku University	SCIENCE
7 85	BL45XU	Sheng Wang	Structure-based discovery of nonhallucinogenic psychedelic analogs	Dongmei Cao	Chinese Academy of Sciences	SCIENCE
8 78	BL02B1 BL02B2	Susumu Kitagawa	Separating water isotopologues using diffusion-regulatory porous materials	Yan Su	South China University of Technology	NATURE
9 75	BL02B2 BL15XU	Hiroshi Kitagawa	Noble-Metal High-Entropy-Alloy Nanoparticles: Atomic-Level Insight into the Electronic Structure	Dongshuang Wu	Kyoto University	JOURNAL OF THE AMERICAN CHEMICAL SOCIETY
10 60	BL01B1	Shinya Furukawa	Ternary platinum-cobalt-indium nanoalloy on ceria as a highly efficient catalyst for the oxidative dehydrogenation of propane using CO ₂	Feilong Xing	Hokkaido University	NATURE CATALYSIS

●備考

*1 : 成果登録 DB に登録された原著論文／博士論文／査読付きプロシードィングで、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2023B期までに実施された有償利用にかかる利用料の実績について集計した。共用ビームライン（共用BL）、専用ビームライン（専用BL）、及び一部共用にビームタイムを供している理研ビームライン（共用供出理研BL）において実施された成果専有利用（一般課題、時期指定課題〔測定代行課題及び産業利用準備課題を含む〕）、成果公開優先利用を対象としている。

SPring-8については、総累計、10年間累計、及び2023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2023年までの総累計、及び2023年度（1年間）の実績を集計した。

調査日：2024/04/01
(単位：千円)

SPring-8	1997-2023（総累計）			2014-2023（10年間累計）			2023（1年間）		
	有償利用料 収入	うち 成果専有	うち 公開優先	有償利用料 収入	うち 成果専有	うち 公開優先	有償利用料 収入	うち 成果専有	うち 公開優先
総 計	6,730,528	5,455,858	1,274,670	3,906,304	3,061,444	844,860	633,561	490,794	142,767
共用 BL	5,408,410	4,147,987	1,260,423	3,173,212	2,335,410	837,802	512,793	373,170	139,623
専用 BL ¹	1,072,101	1,072,101	—	519,694	519,694	—	102,414	102,414	—
理研 BL ²	250,017	235,770	14,247	213,398	206,340	7,058	18,354	15,210	3,144

(単位：千円)				
SACLA	2012-2023（総累計）		2014-2023（10年間累計）	
	有償利用料収入		有償利用料収入	有償利用料収入
BL1-3	7,137		7,137	0

●SPring-8 集計対象BL

共用 BL —— 計26本及びCryoTEM2台

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13本

BL03XU BL08B2 BL11XU BL12XU BL12B2 BL14B1 BL22XU BL23SU BL24XU BL28XU BL31LEP
BL33XU BL44XU

理研 BL² —— 計18本

BL05XU BL07LSU¹ BL15XU¹ BL16XU¹ BL16B2¹ BL17SU BL19LXU BL26B1 BL26B2 BL29XU BL32XU
BL32B2¹ BL33LEP¹ 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）。BL07LSU、BL33LEPは専用BLに含めた（2023/04/01より理研BL）。BL16XU、BL16B2は専用BLに含めた（2024/04/01より理研BL）。

*2 : 理研BLのうちBL38B2は、2024B期時点では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。

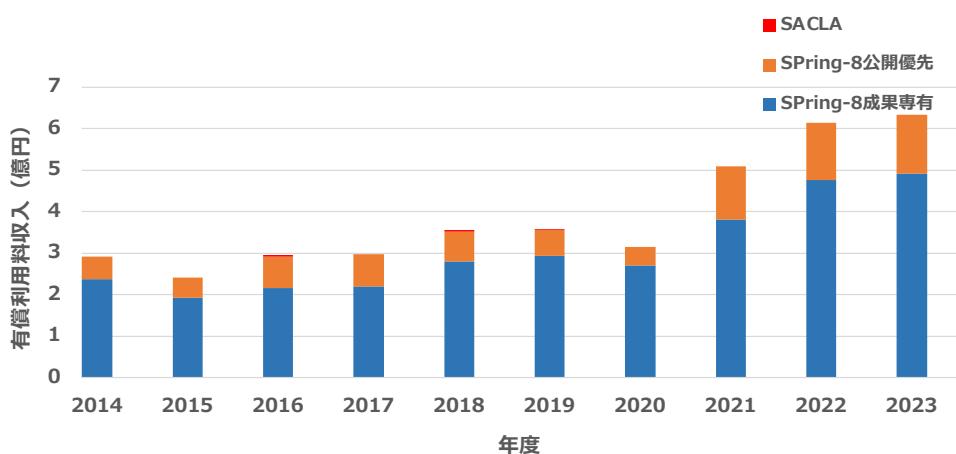
2. SPring-8/SACLA 有償利用料収入の年次推移

2014 年度から 2023 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：2024/04/01

(単位：億円)

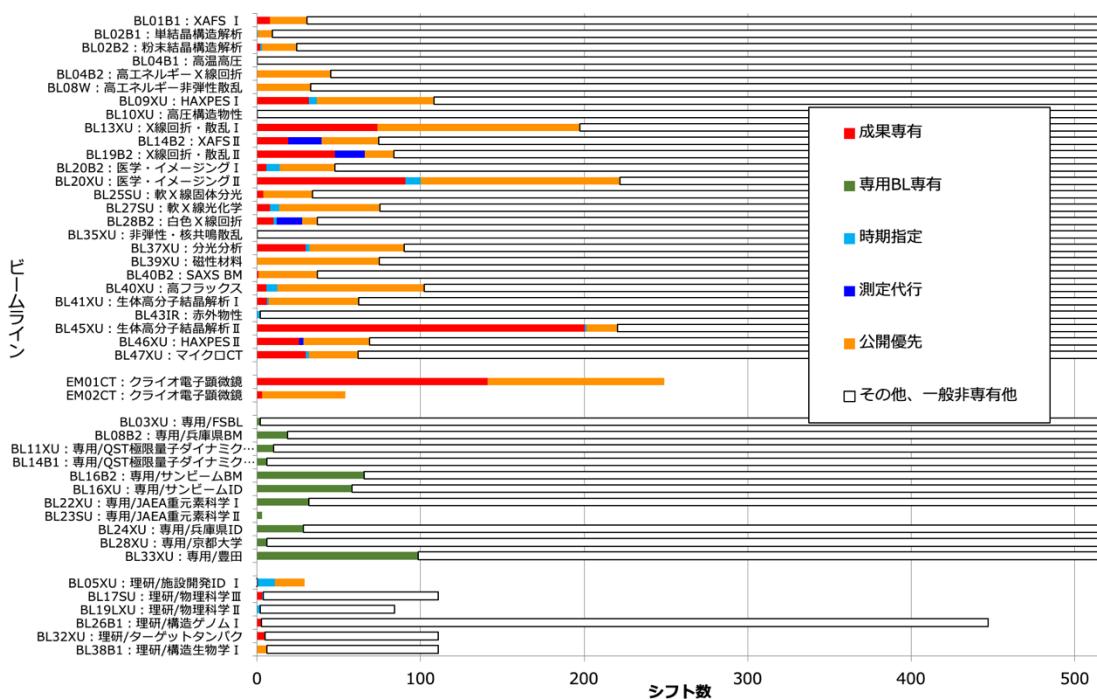
年度	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
SPring-8	2.91	2.41	2.91	2.98	3.53	3.57	3.17	5.09	6.15	6.34
SACLA	—	—	0.04	—	0.02	0.02	—	—	—	—



3. 2023 年度の SPring-8 有償利用の状況（シフト数）

2023 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：2024/04/01

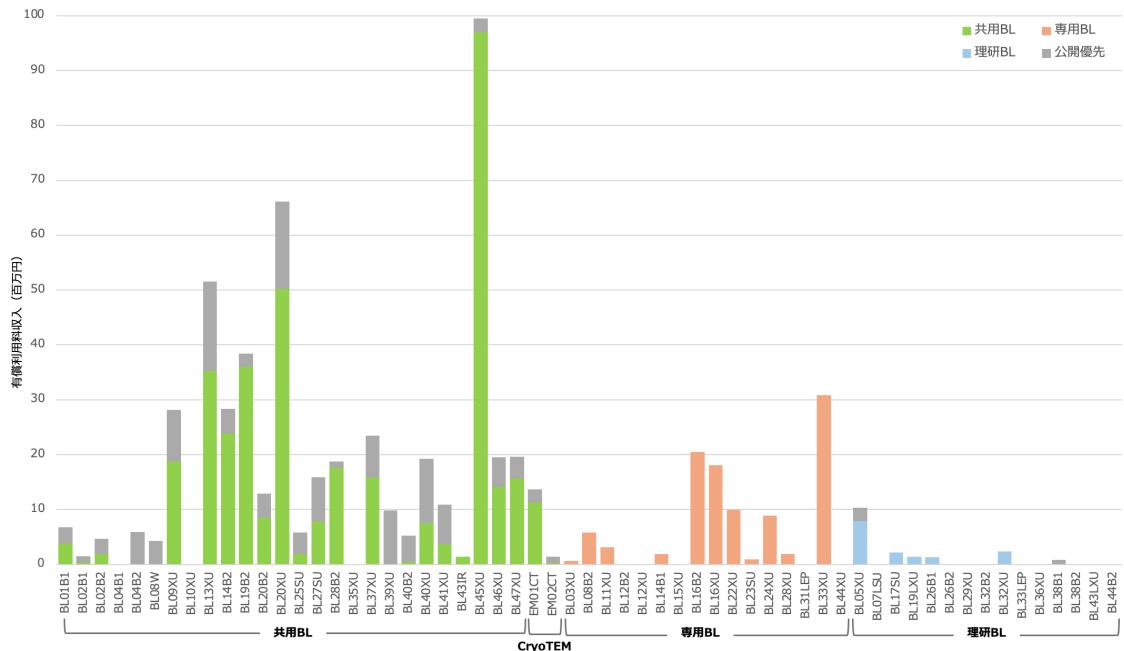


●共用 BL26 本は全表示。専用 BL 及び共用供出理研 BL は、有償利用実績があった BL のみ表示。

4. SPring-8 の BL 別の年間有償利用料収入 (2023 年度)

2023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。

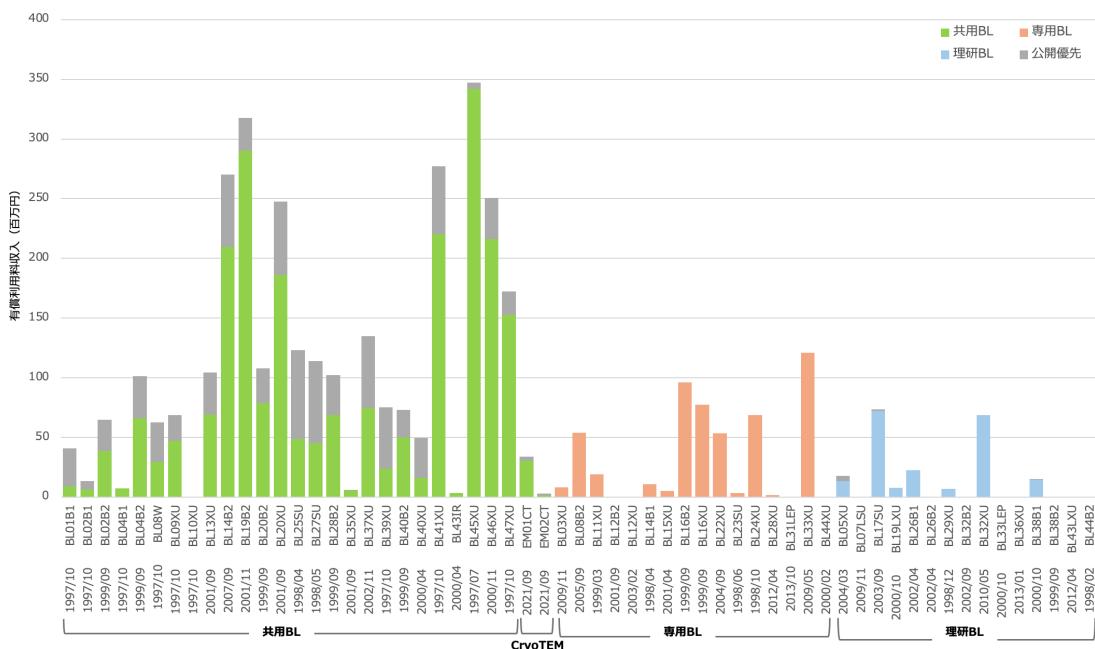
調査日：2024/04/01



5. SPring-8 の BL 別の 10 年間累計有償利用料収入（2014–2023 年度）

2014年度から2023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：2024/04/01



専用ビームラインにおける評価・審査の結果について

登録施設利用促進機関
公益財団法人高輝度光科学研究中心
利用推進部

専用施設審査委員会において、大阪大学核物理研究センター、株式会社豊田中央研究所及び大阪大学蛋白質研究所の各専用ビームラインについて、2024年5月に中間評価、利用状況評価・次期計画審査及び延長評価を行い、それらの結果を2024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。

記

中間評価

- ・レーザー電子光IIビームライン (BL31LEP)
(設置者：大阪大学核物理研究センター)

利用状況評価・次期計画審査

- ・豊田ビームライン (BL33XU)
(設置者：株式会社豊田中央研究所)

延長評価

- ・生体超分子複合体構造解析ビームライン (BL44XU)
(設置者：大阪大学蛋白質研究所)

詳細は、以下に示す各施設の評価報告書をご覧ください。

レーザー電子光 II ビームライン (BL31LEP) 中間評価報告書

レーザー電子光 II ビームライン (BL31LEP) は、国立大学法人大阪大学核物理研究センター (RCNP) が、BL33LEP に続いて SPring-8 に設置した 2 本目の専用ビームラインであり、その研究の目的は、物質の基本粒子であるバリオン及びメソンの構造とそれらの間に働く力を、その構成要素であるクォーク・グルーオンのレベルで理解することである。RCNP が標榜するクォーク核物理の開拓を目指して、 $10^{14}\text{--}10^{15}$ m スケールでのクォーク原子核の世界を観測する第 2 のビームラインを建設する LEPS2 プロジェクトは、2006 年度より検討開始、2010 年から建設に入り、2014 年度から物理実験が行われている。

RCNP から BL31LEP の利用継続の申し出があり、専用施設審査委員会（本委員会）に「レーザー電子光ビームライン II (BL31LEP) 利用状況等報告書」、並びに「レーザー電子光ビームライン II (BL31LEP) 次期計画書」が提出された。2020 年 7 月 28 日に第 31 回専用施設審査委員会を開催し、そこでの報告及び討議により中間評価後の利用状況及び提出された次期計画の妥当性について審査した。その結果、次期計画のための再契約は妥当であると判断した。なお、次期計画は 10 年間として提案されているが、ビームライン自身の進捗に加え SPring-8 の次期計画の進捗に応じた見直し等が必要と考えられることから契約期間は 6 年とし、3 年後を目途に中間評価を行うことが勧告された。

今回、この勧告を受けて 2024 年 5 月 9 日の第 39 回専用施設審査委員会において中間評価を行った。RCNP より提出された「レーザー電子光ビームライン II (BL31LEP) 中間報告」及び口頭によるプレゼンテーションにもとづき、「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」及び「今後の計画」の 4 項目について評価を行い、本委員会では第 2 期後半における本ビームラインの設置と運用の「継続」を勧告することと判断した。

本委員会での報告及び討議に基づき、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

SPring-8 の長直線部をレーザー・電子相互作用領域として使用し、高強度の GeV ガンマ線を生成する、世界的にもユニークなビームラインと位置付けることができる。このビームラインにおいて、電磁カロリーメータ BGOegg やソレノイド・スペクトロメータとの組み合わせにより他所では実施不可能な実験データを生み出すことが可能である。

しかしながら、2020 年 7 月に正式に策定された第 2 期前半 (2020-2024 年) の実験計画は、複数の装置整備の顕著な遅れ (PWO 電磁カロリーメータ組込によるトラブル、266 nm のパルスレーザーの実験導入への遅れ、TPC の故障対応や性能に問題がある BEPC モジュールの交換等) により甚大な影響を受けた。その結果、第 2 期前半に優先して行う計画であったソレノイド・スペクトロメータを用いた Θ^+ の探索実験が、現時点でも実施されていない深刻な事態を招いた。

2. 「施設運用及び利用体制」に対する評価

世界に同様の施設のない LEP の利用を適切に進めるにあたり、Q-PAC による国際的な課題審査に基づく利用体制はある程度評価できる。その一方で、2020 年の 7 月に正式に策定された第 2 期前半の実験計画の、現時点での大幅な遅れは、実験装置群の高度化に於けるマネージメントが適切に機能してきたのかという疑問を抱かせる。

この中間評価の 4 年間は、コロナ禍やウクライナ戦争の影響により、海外からの実験参加者が激減したため、20 名程度のコアメンバーで、実験施設の維持、管理、高度化、利用実験、データ解析を実施し、人的リソースが極端に欠乏していたようである。一方で、他の SPring-8 のビームラインでは、コロナ禍、ウクライナ戦争に於ける人流の制限はともに限定的であった。BL31LEP においても、別の要因がなければ、海外からの実験参加者数が今後回復し、人的リソースの窮状が緩和されていくものと期待される。

BL33LEP の実験的運用が基本的に終わり、本ビームラインに人的リソースが集約したこと、マニュアル整備、ガイドライン作成、安全点検、教育の実施などが行われ、安全面を含む運用に一定の改善が図られたことから、ビームアボートの回数や深刻なシステム／

機器の故障件数には大幅な改善が見られた。装置の点検・維持管理、使用者教育なども含め、引き続き改善を進めて欲しい。

3. 「研究課題、内容、成果」に対する評価

BGOegg 測定器において、期待通りの性能が発揮され、中性メソンに関する新たなデータが得られている。 η' メソンの生成について今後新しい研究プログラムが広がる可能性も高まっている。

ソレノイド測定器の整備は大幅に遅れているが、設計性能に達成したソレノイド測定器がフル稼働できれば、 $\gamma d \rightarrow K + (K - pn)$ という K 中間子が原子核内部でどう束縛されているかという研究に寄与することが期待されるが、結果が示されていないので、今後の解析に期待する。

2020 年から 2024 年にかけては、全般的に、実験装置の高度化の遅れが実験の進展を妨げたようである。この期間での成果が、*Physical Review C* 3 本、*NIMA* 1 本、*Review of Scientific Instruments* 1 本の計 5 本の原著論文に止まったのはそれが主な理由である。

4. 「今後の計画」に対する評価

本評価部会に提出された「今後の計画」は、SPring-8 の高度化 (SPring-8-II) がますます現実的なものとなる中で、予算化も順調に進められようとしている現状を鑑みるに、SPring-8 での運転が 2027 年の夏に終了し、新しい蓄積リング SPring-8-II による運転再開が 2028 年度末から開始されるというシナリオを現実のものとして再検討されることを提言する。

BL31LEP の長直線部には、放射減衰を促進する Damping Wiggler の設置が予定されており、レーザーの打ち込みと LEP の取り出しがその時点ではできない状況にある。これらの検討の開始は、少なくとも SPring-8-II の運転が軌道に乗った後、早くても 2030 年以降になるであろう。Wiggler からの放射パワーを除去する装置が、長直線部下流側に多数設置されるため、検討の結果 LEP を取り出せない可能性も少なくない。

SPring-8-II 移行後の BL31LEP の実験再開の目処が立たないため、2024 年から 2027 年夏までの約 4 年

間では、最大限、成果を刈り取ることを考えて行く必要があろう。(1) 7.5 mm 厚の銅標的に 10 MHz の高強度レーザー電子光を照射し、原子核中での η' メソンの $\gamma\gamma$ 崩壊による質量変化の研究、(2) $\gamma p \rightarrow \bar{K}^0 \theta^+ \rightarrow \bar{K}^0 K^0 p$ 反応での θ^+ の研究、(3) $\gamma p \rightarrow \pi \phi p$ 反応での $s\bar{s}$ を含む核子共鳴やペンタクォーク状態の研究、(4) $\gamma p \rightarrow K^{*+} \Lambda(1405)$ 反応での $\Lambda(1405)$ の性質及び生成機構の研究を行うことが現状計画されているが、これらの実験を成功させるための戦術を十分に検討すべきである。具体的には、BL31LEP 施設のプロモーターである RCNP が、ソレノイド検出器と BGO 検出器を合わせた検出器系全体として、現場で安定に動作しうる性能を先ずはっきりとさせ、これとマッチした測定装置によって行える実験に絞って、今後 4 年間の現実的な運転計画を策定し、国際的なレビューを経て運転計画を最終化して実験ユーザーに示すべきである。

SPring-8-II 以降、この場所で実験を続けていくべきか、国内外の新しい実験場所を探して拠点を移していくべきか、2027 年夏までの約 4 年間で、効率的で戦略的な物理実験の実施と並行し、この分野の関係者は将来の方向性を真剣に議論すべきであろう。

以上

豊田ビームライン (BL33XU) 契約期間満了に伴う 利用状況評価・次期計画審査報告書

【概要】

提出された豊田ビームライン (BL33XU) の利用状況等報告書・次期計画書と口頭による報告発表にもとづき、ビームラインとステーションの構成と性能、施設運用及び利用体制、利用成果、さらに次期計画の 4 項目について 5 月 9 日に開催した第 39 回専用施設審査委員会で評価・審査を行った。その結果、計画に基づいた特徴ある機器整備・開発が適切に行われ成果も認められることから再契約は妥当であると判断する。以下、項目ごとの評価・審査結果の詳細を記載する。

【ビームラインとステーションの構成と性能】

第 2 期にあたる今期は、持続可能な社会の実現に貢献するための新たなチャレンジとしてトヨタ自動車

が 2015 年に掲げた「トヨタ環境チャレンジ 2050」をもとに、自動車の電動化を進めるためのモーター、電池、パワーコントロールユニット等のコア技術開発に貢献することを目標とし、分析技術開発として(1) 非破壊 3D 構造解析の飛躍、(2) オペランド解析技術の深化、(3) AI 利用によるデータ解析の 3 つに主に取り組み、代表的な成果として以下の報告があった。

(1) 自動車を構成する部品の機械的信頼性を評価するための非破壊観察技術として、第 1 期で同ビームラインで開発された走査型 3DXRD 技術の高度化に取り組み、小型回転スパイラルスリットを活用することで測定対象の拡大（複数の結晶層の結晶組織観察の実現）を達成。

(2) 国内外でも特徴的な技術開発として、リチウム電池開発で重要となる軽元素の化学状態に効果的な X 線ラマン分光 (XRS) 測定技術の多次元化に取り組み、化学状態の空間分布を評価可能なイメージング XRS 測定技術の開発を達成。

(3) 放射光分析技術で得られたデータをプロセスに展開するために AI を活用した高度のデータ解析に取り組み、ディープラーニングを活用したラミノグラフィー像のアーティファクト除去技術の開発を達成。

これらのことから、6 年という短い期間にも関わらず、計画的なビームライン運用と整備により、当初の計画目標を達成する技術開発成果が得られていると考える。

【施設運用及び利用体制】

第 1 期に引き続いて本第 2 期も、(株) 豊田中央研究所（以下、豊田中研）1 社専用のビームラインとして、社内の設備と同等に位置付けられて運用や安全体制が管理され、常駐者も配置された安定的な運用が進められた。また、トヨタグループ各社のニーズは豊田中研への委託業務または共同研究として対応し、グループ会社全体の研究開発に貢献した。

特にこの第 2 期から、課題募集・選定等の運用に関して同社の研究企画・推進室が加わることにより全社目線での研究課題の募集や選定が可能になった。さらに、柔軟かつ効率的なビームタイム運用を実現しており、成果非専有課題による論文発表の拡大と応用研究目的の成果専有課題の増加をバランスよく実現する

成果につながっていると思われる。

また、安全管理体制については全ての実験課題に対して実験責任者の他に安全担当者を配置して、期初には RA（リスクアセスメント）活動を行い、毎回の実験開始時に KY（危険予知）活動をおこなう 1 時間の安全活動時間を設けるなど、徹底した模範的な体制を構築している。

【利用成果】

第 2 期の特筆すべき成果として、①オペランド X 線イメージングによる燃料電池のガス拡散層内部の水輸送現象の解明、②オペランド XAFS による三元排ガス触媒の酸素貯蔵材の特性解明、という成果を挙げ、①は燃料電池車の高性能化に、②はガソリンエンジン車及びハイブリッド／プラグインハイブリッド車の排ガス触媒の高度化に貢献している。また、これらの成果の発表論文は学術界からも高く評価され、①は化学工学会技術賞等を受賞し、②は自動車技術会論文賞を受賞している。さらに他にも、Li 電池や触媒のメカニズム解明研究において、第 1 期から同ビームラインで開発・整備されてきたオペランド XAFS 測定技術やそれを XRD と組み合わせてマルチモーダル化したオペランド XRD／XAFS 測定技術の応用成果、XRS 測定技術開発成果などが、高いインパクトファクターの学術誌に掲載される等、学術論文成果について質／量の両面で向上した。

このように産業成果だけでなく学術的成果についてもバランスよく成果を上げている点は、前項の「施設運用及び利用体制」で言及した社内ニーズに合わせた柔軟かつ効率的なビームタイム運用を実現していることに起因しているとも考えられ、高く評価できる。また、①の燃料電池のガス拡散層内部の水輸送現象の解明では、中性子イメージングも併用した量子ビーム相補活用の成果であり、中間評価における意見で述べられた他の分析技術との相補活用成果への期待にも対応できている点は評価に値する。

【次期計画】

第 2 期に引き続き、トヨタ自動車が掲げる「トヨタ環境チャレンジ 2050」の元に、自動車電動化の促進によるカーボンニュートラル (CN) の実現に加えて、

2次電池のリサイクル・リユースの促進によるサーキュラーエコノミー(CE)の実現を目標とする計画として、(1)放射光X線ラマン散乱法(XRS)の飛躍、(2)マルチモーダル・マルチプローブ計測の進化、(3)高エネルギー高輝度ビームとコンプトン散乱法の開発、(4)自動・自立実験とAIの新展開、の4項目の研究開発方針を提案した。(1)、(2)、(4)は第2期の研究開発成果の発展であり、(3)は今回新規に加えられた項目である。各項目の主要な内容は下記の通りである。

(1)、(3)はCN、CEの鍵となる、従来の分析手法では難しい電池中の軽元素のオペランド分析の実現を目指したものである。第2期で開発したXRS技術をSPring-8-IIの高輝度光源で高測定能率化してリアルタイム計測できる実用技術に高度化しようとするだけでなく、非破壊で実装置内の軽元素分布を可視化できる技術として、近年共用ビームラインで開発が進むコンプトン散乱技術の新規導入に挑戦する姿勢は評価に値する。

(2)において、第2期に着手された放射光と中性子の量子ビーム相補活用によるマルチプローブ化の発展的取り組みには、課題解決に必要とされる多角的分析の一角としての放射光分析の位置付けを強化するものとして期待したい。

(4)自動・自立実験によるビッグデータ取得とAI活用は、放射光を活用した研究の新たな可能性の拡大に資すると考えられ、その成果が期待できる。

提案された10年間の設備投資スケジュールは、現在想定されるSPring-8-II計画の改造スケジュールを考慮した、実行的な計画である。さらに、運用や安全の管理については第2期までに確立した柔軟かつ効率的な体制での運用が引き続き計画されている。ただし、SPring-8-II計画を含め、今後の予定については未確定部分も多いので、これまで以上に理研、JASRI等のSPring-8内の他機関との情報交換や技術交流が重要になると思われる所以、積極的に取り組んでいただきたい。

以上のことから、第1期～第2期を通じて達成された機器整備や技術開発の成果を活かし、今後も継続的に特徴ある成果が創出されることが期待されるため、再契約が妥当であると判断する。

以上

生体超分子複合体構造解析ビームライン (BL44XU) 延長評価報告書

設置者である大阪大学蛋白質研究所から提出された利用状況等報告書、延長理由・延長計画書及び口頭による報告発表にもとづき、ビームラインとステーションの構成と性能、施設運用及び利用体制、利用成果、及び延長理由・延長計画書について、5月30日に開催した第40回専用施設審査委員会で評価・審査を行った。その結果、第3期の施設運用は概ね順調であり、機器整備もほぼ計画通りで、利用成果の公開も進んでいることから、提案のあったSPring-8-IIアップグレードのためのシャットダウン前までの延長は妥当であると判断される。

以下、項目毎の評価・審査結果の詳細を記載する。

1. ビームラインとステーションの構成と性能

生体超分子複合体構造解析ビームラインは挿入光源を備えるBL44XUから成る。SPring-8には蛋白質結晶回折実験が可能なビームラインが他に5本あるが、ユーザーインターフェースは理研・JASRIにて開発されたシステムが導入され、設置機器の違いはあるものの全体としてよく統一されている。一方で、それぞれが特徴的な試料を対象として棲み分けられ、実験目的に応じてビームラインを使い分けることに支障がない環境を提供している。

そのなかで本ビームラインは設置当初より蛋白質のなかでも巨大な分子(超分子複合体)を標的とし、ビーム発散角が小さく平行度の高いビームを提供し、大面積の検出器を設置して、回折点間隔が狭くなる大きな単位格子を有する結晶に適した仕様であった。2018年の再契約時にモノクロメータの低振動化対策や縦集光ミラーの導入により高輝度化を進めるとともに、サンプル交換ロボットの大容量化とピクセルアレー検出器の導入による測定時間の飛躍的な短縮で、効率的かつ汎用的な実験にも対応する環境を実現、共同利用拠点としての機能を高めた。また、ビームストッパーや検出器傾斜架台の改良により、長格子結晶からの高精度データ取得のための高度化も進めている。今回の評価対象であるその後の第3期においては、中間評価を挟む期間において、結晶方位を任意に調整す

る多軸ゴニオメータを導入して長格子への対応など、従来の特色を発展させる試みも進めている。

2. 施設運用及び利用体制

ビームタイムの運用において、蛋白質研究共同利用・共同研究拠点の理念に基づいた共同利用課題を受け付けており、国内外のアカデミアの利用者に広く門戸を開いている。設置者自身の研究活動として50%弱のビームタイムを利用し、50%強のビームタイムを共同利用・共同研究拠点活動を中心に設置者自身以外の外部研究者に提供している（台湾 NSSRCとの連携協定枠10%、外部資金活動AMED/BINDSの利用支援10%を含む）。共同利用枠選定の課題審査において、設置当初から生体超分子複合体に関する課題の採択に有利となる制度を設け、当該領域の研究を推進している。該当する課題は、年数件程度に留まるものの、他では見られない特徴的な成果の創出にも貢献している。

利用状況については、前回中間評価時期に比べ若干減少したものの、採択課題数は年間50-60件程度となっている。一方、産業界からの利用については、当該期間中には試料調製から構造解析を含む包括的な課題が1件実施されるに留まった。

運用に関する組織面では、責任者である中川教授の他、SPring-8サイトに常駐するスタッフ2名（准教授1名、博士研究員1名）でビームラインでの運用を行っているが、理研及びJASRI、台湾ビームラインとの連携により、研究開発や機器設置に関する協力が得られる状況にある。以前からの指摘である体制の強化や人材育成面での貢献が引き続き望まれる。

安全衛生面については十分配慮され、施設と連携した取り組みが行われており評価できる。

3. 利用成果

発表論文数においては、年間50-60報程度の原著論文が発表されている。近年のクライオ電子顕微鏡の進展で超分子複合体の成果はやや減少傾向にあるものの、インパクトファクターの高い学術誌に解析高難度の超分子複合体や膜蛋白質の成果も数多く報告されている。具体的には、大阪大学蛋白質研究所内からの研究成果として、生物の光合成に関わる光化学系I、

シトクロムc556、がん細胞認識抗体、多剤排出ポンプ、時計タンパク質、電位センサー蛋白質、植物塊茎形成活性化関連蛋白質など、本ビームラインの設置の目的の一つである複合体形成によって機能を発揮する蛋白質群の解析が、共同利用においては光合成関連膜蛋白質複合体やウイルス粒子などの当該ビームラインの特長を活かした成果も含まれている。

この成果創出において、SPring-8の他の蛋白質結晶解析ビームラインと比較しても依然遜色なく、当該ビームラインの特長を活かした成果と相まって、高く評価できる。

4. 延長計画

本ビームラインはその特徴である生体超分子複合体構造解析を掲げるなか、大型外部資金AMED-BINDSプロジェクトの予算が2017年度から導入され、中間評価時には未定であったその第2期（2022年度～）の予算も獲得し、計画の実行が進んでいる。今回の延長計画の実施内容は従来と大きな変更はなく、ビームラインとしては、引き続き多軸ゴニオメータ等の開発を進め、超分子複合体結晶からの高精度データの取得を目指して、特長をより伸ばしていく計画が堅持された。しかし、前回の中間評価時にも指摘があった通り、蛋白質結晶解析を取り巻く環境は変化を続けており、生体超分子複合体結晶構造解析は近年のクライオ電子顕微鏡法の進展により独壇場ではなくなった。ただし、申請者らから説明があった通り、蛋白質結晶解析の実施件数そのものは世界的にも減少しておらず、それらの特徴を生かした相関構造解析が進んでいることが伺える。この傾向は前述の利用成果にも見て取れる。

こうした状況を踏まえつつ、ビームラインの特徴も活かして、従来提案されてきた動的な複合体形成に基づく分子ネットワークの理解に延長期間も取り組む。この試みは、生命科学現象を原子分子レベルから理解する次世代の構造生命科学研究を見据えた提案といえ、当該分野を取り組む課題でもある。具体例として、植物の光エネルギー変換システムや薬剤排出ポンプの分子機構、ウイルス粒子の生命環の構造生物学的な理解が挙げられたが、高分解能な結晶構造とクライオ電子顕微鏡による多型解析を進めて分子の構築・作動

原理に迫る。さらに設置者である大阪大学蛋白質研究所ならではの取り組みとして、クライオ電子顕微鏡法や核磁気共鳴法など複数の手法を組み合わせたマルチスケールな相関構造解析への取り組みを発展させる。また同研究所の機能である大学共同利用施設として、これらの普及に取り組むためにワンストップ窓口を設定することも計画案として示された。世界の蛋白質研究をリードしてきた設置者が引き続きこの大きな課題に取り組まれ、後進を育成されることを期待したい。

以上のように、全般的な取り組みは十分評価できる内容であり、提案のあった SPring-8-II アップグレードのためのシャットダウン前までの延長は妥当と判断される。一方、その後の計画については未定とされており、運用の体制と長期計画について懸念が残る。棲み分けが進んだタンパク質結晶回折ビームラインや施設全体の運用計画への影響も考慮して、蛋白研全体としての研究方針や体制及び人材育成を含め将来構想を明確にしていただき、早期に施設側との調整を進めることを求める。

以 上

利用系活動報告

Activity Report of the Precision Spectroscopy Division 2024

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

依田 芳卓、福井 宏之、永澤 延元、
萬條 太駿、石川 大介、Alfred Q. R. BARON

1. Introduction

The Precision Spectroscopy Division (PSD), <http://www.jasri.jp/organization/organization-research-section/precision.html>, focuses on meV-resolved inelastic X-ray scattering (IXS) and nuclear resonant scattering (NRS). These two areas of research are somewhat outside the historical mainstream of X-ray techniques, but they have flourished at modern synchrotron radiation sources. IXS investigates atomic dynamics (phonons in crystals, excitations in disordered materials) via measurement of the dynamic structure factor on ~1-100 meV energy scales at ~1-100 nm⁻¹ momentum transfers (see [1] and references therein). While in principle this overlaps some ranges accessible by inelastic neutron scattering (INS), IXS offers important advantages, including access to samples that are several orders of magnitude smaller (from ~gram scales for INS to sub-microgram for IXS), dramatically improved data for disordered materials, as well as generally cleaner data than INS. NRS offers a variety of techniques (see [2, 3] and references therein) that probe atomic, magnetic and electronic structure and dynamics on energy scales from neV to meV. While the NRS methods do have some overlap with those of classical Mössbauer spectroscopy (MS), NRS greatly extends the range of available methods, including access to phonon densities of states and to neV-scale atomic dynamics, and to resonances that are not easily accessible with radioactive sources.

The methods employed by the PSD, IXS and NRS, provide detailed and important information that can be difficult or impossible to obtain using other methods.

These are therefore actively pursued at SPring-8 and, indeed, at most of the large synchrotron radiation facilities including ESRF, APS, PETRA (NRS only) and NSLS-II (IXS only). In this context SPring-8 has world-leading IXS spectrometers^[1]. Meanwhile the NRS program has benefitted from a long tradition of NRS work in Japan^[4], including a strong focus on instrumentation development^[5].

The PSD division goals remain, in order of priority:

- 1a. Maintain and improve the complex instrumentation and methods available in the division.
- 1b. Aid external scientists (users) to productively use the division resources to do new science.
2. Carry out and publish research, preferably using PSD instrumentation, but also extending to other instruments at SPring-8, and, perhaps, in rare cases, outside SPring-8.
3. Promote division activities and attract new users.

2. Nuclear Resonant Scattering (NRS)

The nuclear resonant scattering program includes many techniques and a rather large suite of optics and detectors. Energy scales from neV to μeV to meV can be probed, depending on the method, and X-ray energies from 14 to > 70 keV are used. The common feature is the use of long-lived (> ns lifetime) nuclear or “Mössbauer” resonances. The measurements often require timing mode / few-bunch operation of the storage ring, either to permit direct time domain measurements of the impulse response of a system, or, more often, to allow separation between nuclear

scattered events and (faster) electronic scattering. However, an increasing number of measurements (see sections 2.2 and 2.4) can be done in any bunch mode. The broad range of techniques and large energy range of the resonances as well as the combination of sophisticated optics and detectors makes NRS a challenging field for user support.

2.1 Successful Program Upgrade

The NRS program moved its home base from BL09XU to BL35XU in 2021. Many of the planned changes were detailed in the last PSD activity report^[6]. Here we note the changes have generally gone according to plan and have led to improved capability. In particular, the short period ID installed at BL35XU for IXS, yielded an improvement of between 2 and 3 times the flux for all setups for NRS (see table 1) compared to BL09XU. (The energy gap between ~28 and 43 keV has not been a problem). However, despite the fact that essentially all experiments are flux limited and the flux doubled or tripled, there was little or no change in the number of shifts requested by users in their proposals. This may reflect the small and relatively stable user community as well as the flux limited nature of the work.

Switching between NRS setups has become easier due to the more convenient optical layout. Also, the new toroidal mirror, similar to one installed at BL43LXU, provides a small ($50 \times 28 \mu\text{m}^2$, FWHM) beam at 14.4 keV and also has been used to focus at higher energy (e.g. 76 keV) though with a larger focal spot size. The measured focus (after the mirror was repolished, as the initial polishing

Table 1 Flux and flux increase using the 20 mm period ID at BL35XU.

Nuclei	Energy [keV] (Bandwidth)	Flux [GHz]	Factor [BL35XU/BL09XU]
⁵⁷ Fe	14.4 (6 meV)	160	2.1
	14.4 (3.5 meV)	53	1.9
	14.4 (2.5 meV)	33	2.4
	14.4 (0.8 meV)	5.6	2.1
¹⁵¹ Eu	21.5 (1.2 meV)	15	3.2
¹¹⁹ Sn	23.9 (1.5 meV)	3.8	3.4
⁶¹ Ni	67.4 (~0.35 eV)	74	2.3

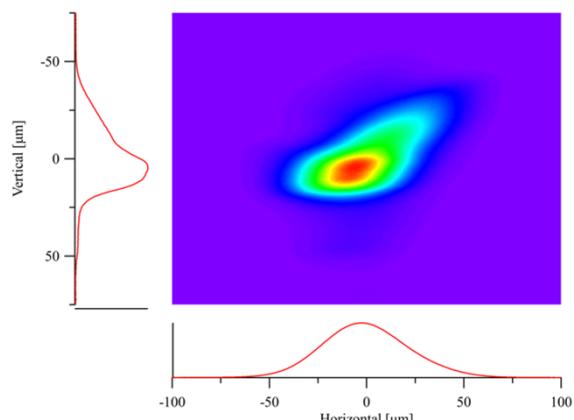


Figure 1 Focal spot at 14.4 keV from the bent cylindrical mirror c.

was somehow very poor) is shown in figure 1. The one-sided tail in the vertical is mostly the effect of the high-resolution monochromator.

Other spectrometers for time domain and energy domain Mössbauer spectroscopy, nuclear inelastic scattering, and time domain interferometry were (re-)installed successfully in 2021A and subsequent periods, as originally planned, in part with greatly appreciated help from JASRI visiting researchers. Further, though not officially part of the upgrade, a new closed cycle cryostat system for NRVS experiments was installed at BL19LXU. This is much more convenient and inexpensive to run than the previous liquid He system.

2.2 Development of a SMS system

Most NRS methods require timing mode operation of the storage ring. However, if a pure nuclear reflection in a highly perfect crystal is available, it is possible to use what has been called a “Synchrotron Mössbauer Source” (SMS) setup^[7]. That setup may be used independent of the storage ring filling pattern/timing mode. It uses the pure nuclear reflection to select only the resonant radiation, and then allows conventional (“Mössbauer”) velocity scans for hyperfine spectroscopy. Hyperfine spectroscopy allows one to probe local magnetic and electronic structure, and even can provide motional information – and is a versatile probe for physics and materials science. The SMS setup will allow hyperfine spectroscopy to be done with a

highly collimated beam, and, eventually, sub-micron focusing.

Over the last years, the PSD, (especially N. NAGASAWA^[8]) has been involved in making an SMS system for use at BL35XU. This will use a slightly different geometry than is usual, employing Bragg scattering^[9], and in particular, backscattering from a sapphire crystal to avoid having to move the small and relatively fragile borate crystal. Recent work has included checks of a precise air-bearing stage for moving the sapphire crystal without much deviation (small pitch and yaw) and most recently installation of a furnace to control the sapphire crystal temperature, which has recently achieved < 1 mK rms temperature stability. The setup is shown in figure 2. First tests with X-rays are expected in 2024.

2.3 Energy Domain Mössbauer Spectroscopy

The SPring-8 NRS program has a unique focus on a method that allows spectroscopy of more exotic nuclei. This technique^[10], which we call “Energy Domain Mössbauer Spectroscopy” (EDMS) facilitates hyperfine spectroscopy measurements on isotopes that are difficult to access otherwise. It has been applied to resonances

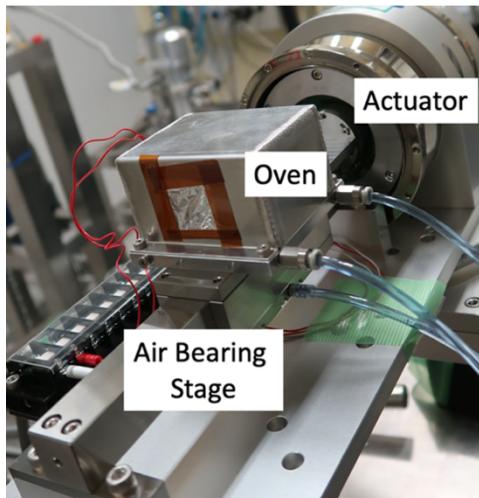


Figure 2 Part of the SMS setup showing the oven for a sapphire backscattering crystal on an air bearing stage with a “Mössbauer” velocity drive actuator. The tilt in the picture is purely an optical effect of the photograph and the motion is in the horizontal plane.

including ^{61}Ni , ^{99}Ru , ^{149}Sm , ^{151}Eu , ^{161}Dy , ^{174}Yb , ^{193}Ir . In general, it provides information that is similar to more conventional hyperfine spectroscopy. However, the method does require timing mode operation and also tends to have long (often > 8 hours per spectrum) collection times. At SPring-8 there has been an interest in measurement of both time and velocity histograms to, eventually, improve the reliability of the analysis. Building on extensive earlier work and the purchase of cutting edge electronics, recent work (mostly by N. NAGASAWA) has focused on simplifying the data collection.

2.4 Energy Domain Quasi-Elastic Scattering

There has been an ongoing collaboration between Tohoku University, RIKEN and PSD staff, among others, to make an energy domain spectrometer with sub- μeV resolution. This is essentially a synchrotron version of an older technique called “Rayleigh Scattering of Mössbauer Radiation”^[11] but leverages both the more intense beams of the SR source and the advantages of the CITIUS area detector to allow, potentially, powerful measurements over a large range of momentum transfers (see figure 3 but note that one expects the indicated range of momentum transfers for the MLS setup is conservative), and in any bunch mode.

First measurements were recently published^[12] and the

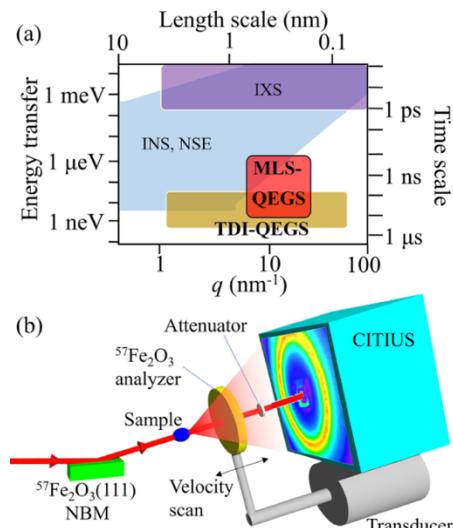


Figure 3 Setup for energy domain quasi-elastic scattering (lower) and expected range of application (box labeled MLS-QEGS) (upper) from [12].

setup should provide a much-needed window into investigations of glass forming liquids and polymers.

3. Inelastic X-Ray Scattering (IXS)

IXS is used to investigate atomic dynamics in materials. There are several standard setups offered at BL35XU^[13] including a $>\sim 1.4$ meV resolution setup using the Si(11 11 11) reflection at 21.7 keV, and ~ 3 meV resolution setup using the Si(9 9 9) reflection at 17.8 keV. These can either be used with standard focusing with an ~ 80 micron beam size or with compound focusing where KB mirrors are used to reduce the size to < 20 microns^[14]. The latter is used with diamond anvil cells (DACs) to investigate materials under extreme pressure. The experimental opportunities for IXS at BL43LXU^[15] are similar to those at BL35XU, but the flux at BL43LXU is higher, with more analyzers and a smaller beam size (see also [1] and section 3.4, below).

The applicable scientific fields for IXS are wide, as phonons and atomic dynamics are related to many material properties. Relevant fields include atomic dynamics in liquids and glasses, electron-phonon coupling in correlated materials, including superconductors, sound velocity and elastic constants in extreme conditions (pressures in excess of 300 GPa and temperatures above 3000 K have been achieved in IXS), which are often correlated with seismological work, phonon lifetimes in thermoelectric materials, magneto-elastic coupling, etc. In the following, we focus mostly on instrumentation results related to improvements in capability.

3.1 Thin Films

There has been an ongoing project at BL35XU to investigate thin film samples. This allows access to structured/layered materials as are often interesting to control thermal transport, and also to interface-stabilized materials that are simply not available in bulk. However, investigating thin films samples requires some specialized setups, as one usually must do experiments in a grazing incidence geometry to increase the X-ray path length in the film. This means there must be precise control over the

sample positions, grazing angles, and also good calculations as the grazing angle is comparable with the angular deviations of the incident beam out of the horizontal spectrometer scattering plane caused by the focusing optics (the bent cylindrical mirror, or, the KB optics). The last means that the errors of the conventional 4-circle geometry code are not negligible: calculations need to be done in a 6-circle geometry.

Building on the work in the materials Dynamics Group^[16], H. FUKUI and T. MANJO have created software that allows general HKL scans to be done using SPEC. The underlying Python 3 based six-circle code^[16] numerically solves the diffraction conditions for the 6-circle angles $2\Theta, \theta, \phi, \chi, \gamma, \mu$, and the surface angles, α and β , with the option to hold a subset of them (or ω) constant. It also calculates the momentum transfers and momentum transfer resolution for all the analyzers in the arrays at either BL43LXU or BL35XU. The added code then allows calculation of HKL scans that can be easily loaded into the usual SPEC software. In addition, the portability of the Python 3 code allows users to investigate, before coming to SPring-8, sample orientations for measuring phonons to learn how to use the analyzer arrays effectively.

In addition to the software/control aspects, there has been work to make a furnace that is suitable for thin film work, as is shown in figure 4. Also, first tests of a LN₂

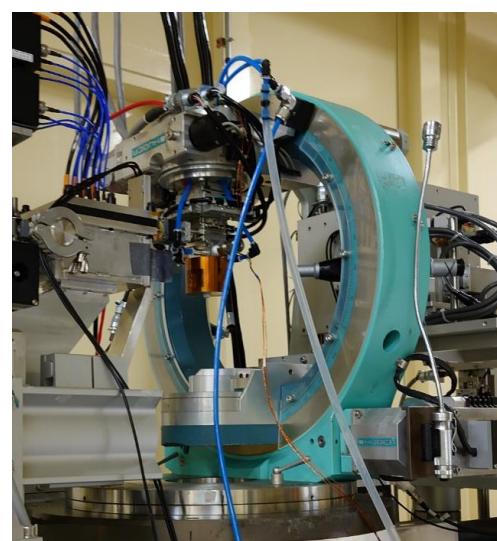


Figure 4 Furnace for making IXS measurements of thin films at grazing incidence mounted in the Eulerian Cradle at BL35XU.

refrigerator system (Anton Paar) have been carried out. A new refrigerator system is desirable as, in a grazing incidence geometry, the vibrations of the usual beamline closed cycle systems can lead, effectively, to large beam motion on the sample.

3.2 Software Integration

A first goal of IXS measurements is to generate plots and data files of the scattered intensity as a function of energy transfer for each analyzer for each arm position where a measurement is made. This typically requires summing data from several scans, including conversion from the temperature to energy, normalization, and application of several calibrations/corrections that are determined at the start of the experiment. Then one must plot the spectra so the results are accessible for the full analyzer array (12 spectra at BL35XU, 28 spectra at BL43LXU).

This, in general, has been a somewhat labor-intensive process, requiring two files (summing and plotting) created manually for each arm position, and transfer of the (HKL) information from the diffraction code to the plotting code. While such manual files allow great flexibility, they also take time to generate, and have a steep learning curve for users (are difficult to learn). While this effort is not a big problem when data rates are low (e.g. 12 to 24 hours per spectrum) there are some experiments where the time to

measure a spectrum is short – 30 minutes to an hour – and then creating such files and transferring and inputting (HKL) information becomes a significant burden.

Therefore there has been effort (primarily by T. MANJO, but also related to work by D. ISHIKAWA) to make scripts that automate the process. The new Python 3-based wrapper software uses one “list” file that contains information for all the spectra – one just adds one line for each dataset. The python code then creates the input files, transfers data around as needed, and runs the earlier processing software. This allows the data from an entire experiment to be easily processed – including a fair number of sophisticated plotting options as have been found to be useful for IXS, including overlay with the “sarf” (deconvolved resolution function, see [17]). Examples are given in figure 5.

3.3 New IXS Pixel Array Detectors

Area or pixel array detectors (PADs) are interesting for IXS as, in principle, they can allow improved resolution, and be relatively easy to use. However, background rates and efficiency are significant issues for these detectors, and it is difficult to match the performance of the original single element detectors (SEDs) used for IXS: $2 \times 2 \text{ mm}^2 \times 1 \text{ mm}$ thick CZT which have background rates that are ~ 0.02 events/s/cm² and are expected to be nearly 100% efficient

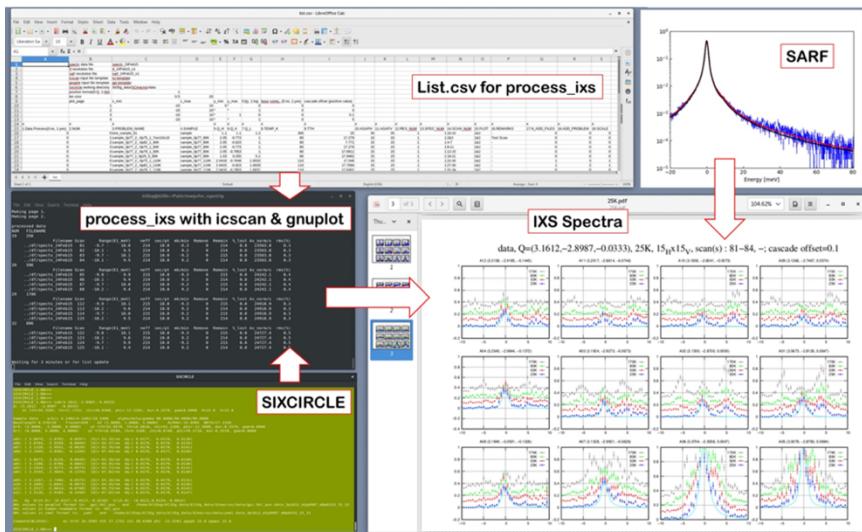


Figure 5 Integrated data processing for IXS combining several steps into a smooth and automatically updating system. A “list” with one line of input per measurement combines several processes as discussed in the text, and allows easy creation of graphics for investigating inelastic response.

(17–30 keV). In comparison, measurements (see [18] and references therein) with higher Z area detectors (e.g. CdTe) show background rates ~ 0.4 events/s/cm², which is large enough to be a problem in low rate IXS measurements and, due to charge sharing, give efficiencies that are more like 70–80%, when one exceeds the K-edges of the detector material.

Considering these issues, and the potential improvements, a study was undertaken (mostly by A. BARON) to investigate how to reduce backgrounds and improve the practical efficiency of the detectors^[18]. This yielded significant improvements (see figure 6), and, finally reduction of background rates down to < 0.05 /s/cm², or with care, to < 0.005 /s/cm², and measured efficiencies $> 90\%$ without negative impact (double-counting) due to charge sharing. The SED detectors at BL43LXU have now been replaced by area detectors, leading to significant improvements in resolution for many analyzers, and easier

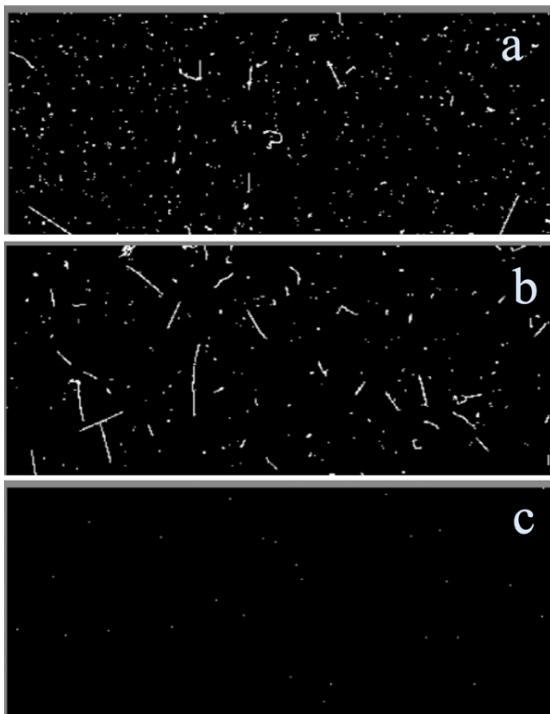


Figure 6 Background measured on the SPring-8 experimental floor in a 15×30 mm² area of a 0.75 mm thick CdTe Eiger 2 pixel array detector. Each exposure was for 2000 s. (a) 0.4 events/s/cm² without processing or shielding, (b) 0.05/s/cm² with shielding and (c) 0.004/s/cm² with shielding and processing. See [18].

operation^[19]. It is expected that a similar system will be installed at BL35XU in the near future.

Incidentally, one notes that the high frame rates and low dark current (low LLD setting) that are now possible using most high-Z area detectors, means that it is easy to experimentally estimate the absolute efficiency of the detector for mid-energy (say 15–40 keV) X-rays.

3.4 High Pressure and a New Pressure Scale

SPring-8 continues to do meV-IXS experiments at the highest pressures world-wide, as is made possible by having the smallest, 5 μ m beam size for IXS and a lot of auxiliary instrumentation^[20] of BL43LXU. This has allowed results in iron to > 300 GPa, and, most recently, a new primary pressure scale^[21], valid to > 200 GPa, which we show here as an example. The primary scale is important for geoscience as it is the only way to compare measurements made in lab settings with conditions expected in the interior of planets. Thus such a scale is required to understand the structure of planetary interiors, and, eventually Solar system evolution, etc.

Figure 7 shows the new scale relative to other scales, and indicates that there is a very large shift at pressures over 200 GPa – with the main previously accepted scale over estimating pressures by $\sim 20\%$.

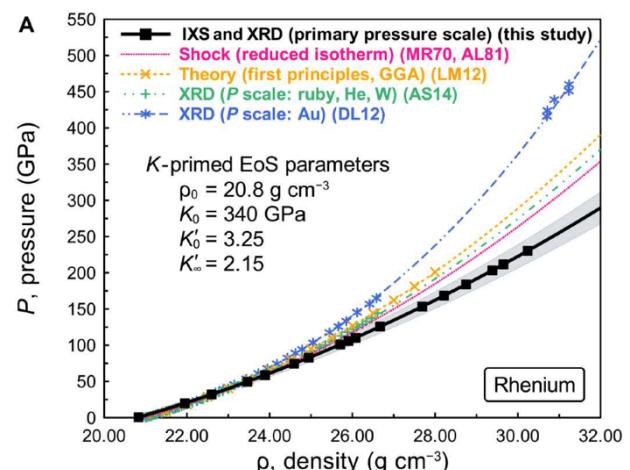


Figure 7 New primary pressure scale compared against previous scales. The grey shaded region is the new work while the other lines represent previous scales. From [21].

4. Other Facilities at SPring-8

The PSD (mostly H. FUKUI) also supports several facilities away from the beamlines. This includes (1) a focused ion beam (FIB) setup that uses Ga ions to mill out ~10 micron scale (usually single crystal) samples from larger pieces, for e.g. placing in diamond anvil cells (DACs). This setup is now rather old, but mostly continues to work. There is also (2) a “Laser Drill” that can be used to make small, 0.01-0.1 mm scale holes in materials, including Beryllium, that can then be used as gaskets for DAC preparation. Most recently, (3), a new and sophisticated XRG (figure 8) was bought that should allow nearly automatic checking of sample quality and alignment, as was of interest to several groups at SPring-8. It is now being commissioned.

5. IXS2024

Finally we note that PSD is making a large contribution to the 13th International Conference on Inelastic X-Ray Scattering (IXS2024) which will be held in Himeji from 8–13 September, 2024. In addition to support from different parts of the SPring-8 community, the conference has had large support from within the PSD, with specifically, A. BARON acting as Conference Chair, with H. FUKUI, T. MANJO, N. NAGASAWA and D. ISHIKAWA all providing service as members of the local organizing committee (LOC). (see <http://ixs2024.jasri.jp/>)

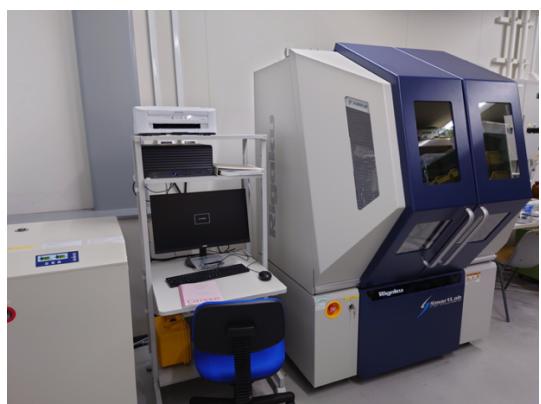


Figure 8 New highly automated and flexible X-ray generator installed in room 共通室B3-1/b 共07.

6. Concluding Comments

The Precision Spectroscopy Division is now establishing a new equilibrium after significant changes in both beamline operations and in organization ~4 years ago. The focus of two staff (N. NAGASAWA and Y. YODA) on NRS work mostly at BL35XU, but also sometimes at BL19LXU, two staff (H. FUKUI and T. MANJO) on IXS mostly at BL35XU (and occasionally helping at BL43LXU), and two staff (D. ISHIKAWA and A. BARON) for IXS mostly at BL43LXU (but helping at BL35XU, and doing large amounts of R&D to improve IXS, and (AB) providing guidance) seems to be reasonable: this allows some forward progress in the various methods, and avoids the more severe levels of exhaustion that quickly become a problem with fewer staff. However, even this level still does not allow much time for research. It is expected that things will stabilize more over the next two to three years and more in-house research will become possible.

References

- [1] A. Q. R. Baron: in *Synch. Light Srcs. & FELS*, edited by E. J. Jaeschke, S. Khan, J. R. Schneider, and J. B. Hastings (Springer International Publishing, Cham, 2016), pp. 1643-1757.
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-14394-1>
See also <https://doi.org/10.48550/arXiv.1504.01098>
- [2] E. Gerdau and H. de Waard: *Hyperfine Interact.* **123-125** (1999-2000).
- [3] M. Seto: *J. Phys. Soc. Japan* **82** (2013) 021016.
<https://doi.org/10.7566/JPSJ.82.021016>
- [4] S. Kikuta, Y. Yoda, K. Izumi, K. Hirano, N. Horiguchi, T. Ishikawa, X. W. Zhang, H. Sugiyama, M. Ando, M. Seto, C. K. Suzuki, and S. Nasu: in *X-Ray Reson. Scatt.*, edited by G. Materlik, C. J. Sparks, and K. Fischer (Elsevier, Amsterdam, 1992), pp. 635-646.
- [5] T. Ishikawa, Y. Yoda, K. Izumi, C. K. Suzuki, X. W. Zhang, M. Ando, and S. Kikuta: *Rev. Sci. Instrum.* **63** (1992) 1015-1018.
<https://doi.org/10.1063/1.1143188>
- [6] 依田芳卓、内山裕士、石川大介、永澤延元、バロンアルフレッド: SPring-8/SACLA 利用者情報 **26**

- (2020) 329-334.
<https://user.spring8.or.jp/sp8info/?p=39523>
- [7] G. V. Smirnov, U. van Bürck, A. I. Chumakov, A. Q. R. Baron, and R. Rüffer: *Phys. Rev. B* **55** (1997) 5811.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevB.55.5811>
- [8] N. Nagasawa, Y. Yoda, and A. Q. R. Baron: Work in Progress.
- [9] T. Mitsui, M. Seto, R. Masuda, K. Kiriyama, and Y. Kobayashi: *Jpn. J. Appl. Phys.* **46** (2007) L703.
<http://dx.doi.org/10.1143/JJAP.46.L703>
- [10] M. Seto, R. Masuda, S. Higashitaniguchi, S. Kitao, Y. Kobayashi, C. Inaba, T. Mitsui, and Y. Yoda: *Phys. Rev. Lett.* **102** (2009) 217602.
<http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.102.217602>
- [11] Champeney, D. C.: *Rep. Prog. Phys.* **42** (1979) 1017-1054.
<https://doi.org/10.1088/0034-4885/42/6/002>
- [12] Saito M. et al.: *Phys. Rev. Lett.* **132** (2018) 256901.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.1807.03620>
- [13] A. Q. R. Baron, Y. Tanaka, S. Goto, K. Takeshita, T. Matsushita, and T. Ishikawa: *J. Phys. Chem. Solids* **61** (2000) 461.
[https://doi.org/10.1016/S0022-3697\(99\)00337-6](https://doi.org/10.1016/S0022-3697(99)00337-6)
- [14] D. Ishikawa, H. Uchiyama, S. Tsutsui, H. Fukui, and A. Q. R. Baron: *SPIE* **8848** (2013) 88480F.
<https://doi.org/10.1117/12.2023795>
- [15] A. Q. R. Baron: *SPring-8 Infomation* **15** (2010) 14.
<https://user.spring8.or.jp/sp8info/?p=3138>
- [16] W. Zhao and A. Q. R. Baron: (2020) *Unpublished*.
- [17] D. Ishikawa and A. Q. R. Baron: *J. Synch. Rad.* **28** (2021) 804-811.
<https://doi.org/10.1107/S1600577521003234>
- [18] A. Q. R. Baron and D. Ishikawa: *Nucl. Inst. Meth. Phys. Res. A* **1049** (2023) 168101.
<https://doi.org/10.1016/j.nima.2023.168101>
- [19] D. Ishikawa, T. Manjo, A. Q. R. Baron, et al.: In Preparation.
- [20] A. Q. R. Baron, D. Ishikawa, H. Fukui and Y. Nakajima: *AIP Conf. Proc.* **2054** (2019) 20002.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.1807.03620>
- [21] D. Ikuta, E. Ohtani, H. Fukui, T. Sakamaki, R. Heid, D. Ishikawa and A. Q. R. Baron: *Sci. Adv.* **9** (2023) eadh8706.
<https://doi.org/10.1126/sciadv.adh8706>

依田 芳卓 YODA Yoshitaka

(公財) 高輝度光科学研究センター
放射光利用研究基盤センター 精密分光推進室
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-0802 ext. 3939
e-mail : yoda@spring8.or.jp

福井 宏之 FUKUI Hiroshi

(公財) 高輝度光科学研究センター
放射光利用研究基盤センター 精密分光推進室
〒679-5148 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-0803 ext. 7880
e-mail : fukuih@spring8.or.jp

永澤 延元 NAGASAWA Nobumoto

(公財) 高輝度光科学研究センター
放射光利用研究基盤センター 精密分光推進室
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-0802 ext. 3395
e-mail : nagasawa@spring8.or.jp

萬條 太駿 MANJO Taishun

(公財) 高輝度光科学研究センター
放射光利用研究基盤センター 精密分光推進室
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-0803 ext. 3910
e-mail : manjo.taishun@spring8.or.jp

石川 大介 ISHIKAWA Daisuke

(公財) 高輝度光科学研究センター
放射光利用研究基盤センター 精密分光推進室
(国) 理化学研究所
放射光科学研究センター 物質ダイナミクスグループ
〒679-5148 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-0802 ext. 3779
e-mail : disikawa@spring8.or.jp

バロン アルフレッド BARON Alfred

(国) 理化学研究所
放射光科学研究センター 物質ダイナミクスグループ
(公財) 高輝度光科学研究センター
放射光利用研究基盤センター 精密分光推進室
〒679-5148 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-0802 ext. 3883
e-mail : baron@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
藤原 明比古

「統合イノベーション戦略 2024」が 2024 年 6 月 4 日に閣議決定されました^[1]。その中で、SPring-8-II の整備に着手することが明確に示されています。これまで、SPring-8 ユーザー協同体 (SPRUC) では、SPring-8 シンポジウムや SPRUC BLs アップグレード検討ワークショップにおいて、施設のアップグレードの状況と今後の計画、成果の最大化に向けた計測基盤整備の検討と要望について、ユーザー内で議論し、施設側との意見交換を行ってきました。

今年度に入ってからは、これまでの議論に加え、SPring-8-II の利用成果の社会貢献への期待を発信すべく、SPring-8-II 利用提案を募集しました。提案をしてくださった会員・研究会の皆様には心よりお礼申し上げます。貴重なご提案は、所掌省庁である文部科学省、施設者である国立研究開発法人理化学研究所、登録施設利用促進機関である公益財団法人高輝度光科学研究センターに具申するとともに、SPring-8 シンポジウムや SPRUC BLs アップグレード検討ワークショップで論及していくたいと考えております。また、公開に賛同いただいた提案に関しては SPRUC の HP 等で公開していきたいと考えております。SPring-8-II 計画はこれからが本番です。引き続き、より良い施設の実現に向けて、会員の皆様と議論を深化させていきたいと考えております。どうぞよろしくお願ひいたします。

少し話は脱線しますが、現在実施されている「第 12 回科学技術予測調査（デルファイ調査）」^[2]について触れたいと思います。本調査は、科学技術・イノベーション基本計画を始め、科学技術イノベーション関連政策・戦略検討・立案のためのエビデンスを提供するために文部科学省科学技術・学術政策研究所が実施している調査です。本調査の調査項目 8 分野の一つに「宇宙・海洋・地球・科学基盤」があり、その細目の一つとして「量子ビーム：放射光」があります。放射光利用研究が一つの項目として採用されていること自体が、我が国での放射光利用研究の重要性を示しています。本調査は、次期「科学技術・イノベーション基本計画」に、そして、その実行計画として位置付けられ

る「統合イノベーション戦略」へつながります。上記の「統合イノベーション戦略 2024」で SPring-8-II 計画への着手が明示されたことは、SPring-8 利用者の不断の研究開発への取り組みと、本調査への積極的な貢献が実を結んだものです。現在実施されている調査についても、これまで通り、SPRUC から会員の皆様に協力依頼をさせていただきました。今回の調査の第 1 回は 7 月 31 日に終了しました。8 月上旬から 9 月に実施する第 2 回は、第 1 回の回答者が対象となります。第 1 回にご協力くださった会員の皆様は引き続きよろしくお願ひいたします。「科学技術予測調査（デルファイ調査）」は、今後も 5 年間隔で継続的に実施される予定です。SPring-8 の利用環境がより良くなるように、更にはそれを活用して、より良い社会への貢献・還元につながりますように今後とも会員の皆様のご協力をお願ひいたします。

関連施設の動向としては、3GeV 高輝度放射光施設 NanoTerasu が 5 月 20 日に試験的共用を開始しました^[3]。軟 X 線に強みをもつ NanoTerasu は、硬 X 線に強みをもつ SPring-8 との相補的利用によって、相乗的な成果創出が期待されます。さらに、前述の「統合イノベーション戦略 2024」では、SPring-8-II の整備と関連付け、「整備に伴う停止期間も勘案し、2024 年度より運用を開始した 3GeV 高輝度放射光施設 NanoTerasu の共用ビームラインの増設について検討を進める。」と示されています。SPRUC では、今後、NanoTerasu との密接な連携についても検討していくたいと考えております。

SPring-8-II 計画に関する議論や NanoTerasu との連携については、9 月 5 日（木）と 6 日（金）に SPRUC 代表機関である九州大学で開催される SPring-8 シンポジウムでもしっかりと議論していくたいと思います。皆様の積極的なご参加をお願いいたします。

SPRUC が主催する「SPring-8 秋の学校」は、今年は 9 月 1 日（日）から 4 日（水）の日程で開催を予定しています。放射線業務従事者登録を必要とせず、学部学生から社会人まで参加が可能であることから、毎年、幅広いバックグラウンドを持った多数の参加者が

集う機会です。講義、グループ講習のみならず、参加者間の交流も貴重な機会です。各研究会からご提案いただいたグループ講習は、過去最高の 19 テーマとなりました。講習をご提供いただく研究会の皆様にお礼を申し上げます。今後、さらに充実した内容になるよう、会員の皆様の一層のご支援をどうぞよろしくお願ひいたします。

参考文献

- [1] <https://www8.cao.go.jp/cstp/tougosenryaku/2024.html>
- [2] <https://www.nistep.go.jp/archives/57495>
- [3] https://nanoterasu.jp/2024/05/NanoTerasu_共用ビームラインの試験的共用を開始！！/

藤原 明比古 FUJIWARA Akihiko

関西学院大学 工学部
〒669-1330 兵庫県三田市学園上ヶ原 1 番
TEL : 079-565-9752
e-mail : akihiko.fujiwara@kwansei.ac.jp

第 21 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、サンビーム共同体・兵庫県・豊田中央研究所の 3 団体、および高輝度光科学研究センター（JASRI）の年次報告会をジョイントして構成したものであり、口頭発表およびポスター発表形式にて実施します。

また今年度は、従来の口頭発表形式およびポスターセッションの成果報告に加え、SPring-8-II への産業界からの期待に関する企画講演を行う予定です。

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

【主 催】 サンビーム共同体

兵庫県

(株) 豊田中央研究所

(公財) 高輝度光科学研究センター（JASRI）

SPring-8 利用推進協議会

【後 援】 (国研) 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)

(一財) 総合科学研究所機構 (CROSS)

(一財) 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】 2024 年 9 月 10 日 (火) ~9 月 11 日 (水) *時間調整中

【会 場】 科学技術館 (現地開催)

*技術交流会：開催予定

【参 加 費】 無料

*技術交流会：会費制

【参加申込およびプログラム等詳細】

<http://www.spring8.or.jp/ja/science/meetings/2024/240910/>

申込締切：2024 年 9 月 3 日 (火) 17 時 (予定)

【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 2024

～SDGs 実現に向けた放射光・FEL～

【趣旨抜粋】

SPring-8 シンポジウム 2024 では「SDGs 実現に向けた放射光・FEL」をテーマとしました。SPring-8 は供用開始から四半世紀以上、SACLA は 12 年が経過しましたが、近年の材料開発競争が激化している状況下で SPring-8/SACLA の果たす役割は大きいと考えられます。最先端の測定から通常の測定まで SPring-8 の全てを、機能性材料の高度化にどのように活かしていくのか、またその結果を出てくるであろう課題に対して新しい測定技術をどのように生み出していくかについての議論を行うことで、次世代の放射光科学の将来ビジョンや新しいサイエンスのあり方を描いていくことを期待します。



【主 催】SPring-8 ユーザー協同体

高輝度光科学研究センター

理化学研究所 放射光科学研究センター

九州大学

【開 催 日】2024 年 9 月 5 日（木）13 時 00 分～6 日（金）16 時 30 分まで

【会 場】九州大学医学部 百年講堂（病院キャンパス）（+オンライン配信）

【参 加 費】無料

【参加申込およびプログラム等詳細】

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

プログラム等随時更新します。

参加申込受付中。

申込締切：8 月 29 日（木）正午（定員に達した場合は、その時点で締め切れます）

【問い合わせ先】SPring-8 シンポジウム 2024 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 : sp8sympo2024@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 朝倉 博行 SPring-8 ユーザー協同体 (SPRUC)
池本 夕佳 利用推進部
大野 花菜 利用推進部
大和田 成起 XFEL 利用研究推進室
河村 高志 構造生物学推進室
下野 聖矢 回折・散乱推進室
竹内 晃久 散乱・イメージング推進室
成山 展照 ビームライン光学技術推進室
西野 玄記 研究 DX 推進室
深見 健司 加速器部門
福井 宏之 精密分光推進室
森脇 太郎 分光推進室
山口 由紀 企画人材部
渡辺 剛 産業利用・産学連携推進室
(以上、敬称略五十音順)

事務局 岡澤 貴裕 利用推進部
青木 智子 利用推進部
松末恵理子 利用推進部

SPring-8/SACLA 利用者情報

Vol.29 No.3 Summer 2024

SPring-8/SACLA Information

発行日 2024 年 8 月 20 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中心
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

こうと
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1
[研究支援部] TEL 0791-58-0950 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/>