

SPring-8/SACL A

INFORMATION 利用者情報



ISSN 1341-9668 SPring-8 Document D2021-015

Vol.26 No.4
Autumn 2021

SPring-8/SACLA Information

目次 CONTENTS

理事長室から 人材育成の原点 -第6期科学技術イノベーション基本計画に期待する-		
Message from President Essence of Human Resource Development - Expectation for 6th Science, Technology, and Innovation Basic Plan -	(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 340
1. 最近の研究から / FROM LATEST RESEARCH		
天体衝突を記録する結晶の生成過程の超高速その場計測		
Ultrafast in-situ Measurement of Crystal Structure Transformation during Hypervelocity Collisions of Asteroids	京都大学 複合原子力科学研究所 Institute for Integrated Radiation and Nuclear Science, Kyoto University	奥地 拓生 OKUCHI Takuo 341
(SPRUC 2021 Young Scientist Award 受賞 研究報告)		
コヒーレント X 線を用いたレンズレス時空間階層イメージング法の開発		
Development of Coherent X-ray Lens-Less Nanoimaging Method for Visualization of Spatiotemporally Hierarchical Structures in Materials and Devices	兵庫県立大学 大学院理学研究科 Graduate School of Science, University of Hyogo	高山 裕貴 TAKAYAMA Yuki 349
(SPRUC 2021 Young Scientist Award 受賞 研究報告)		
GeV 光子ビームを用いたハドロン質量起源の探索		
Study of the Origin of Hadron Mass using GeV Photon Beam	大阪大学 核物理研究センター Research Center for Nuclear Physics, Osaka University	富田 夏希 TOMIDA Natsuki 356
2016 年度指定パートナーユーザー活動報告		
強相関電子系分子性物質の赤外顕微イメージング分光による電荷ダイナミクスの研究		
Study of Charge Dynamics in Strongly Correlated Electron-Based Molecular Materials by Infrared Micro-Imaging Spectroscopy	東北大学 金属材料研究所 Institute for Materials Research, Tohoku University	佐々木 孝彦 SASAKI Takahiko 360
長期利用課題報告 1		
メガバール超高圧物質科学の展開		
Material Science at Mbar Pressure	大阪大学 基礎工学研究科附属極限科学センター 超高压研究部門 KYOKUGEN, Graduate School of Engineering Science, Osaka University	清水 克哉 SHIMIZU Katsuya 368
Long-term Proposal Report 2		
Identifying Mechanisms to Improve Newborn Respiratory Function using Phase Contrast X-ray Imaging	The Ritchie Centre, Hudson Institute of Medical Research / Department of Obstetrics and Gynaecology, Monash University School of Physics and Astronomy, Monash University	Stuart B. Hooper Kelly J. Crossley Marcus J. Kitchen 372
2. 研究会等報告 / WORKSHOP AND COMMITTEE REPORT		
第 25 回国際結晶学会議 (IUCr2021) 報告		
Report of IUCr2021 (25th Congress and General Assembly of the International Union of Crystallography)	(公財) 高輝度光科学研究センター 放射光利用研究基盤センター 回折・散乱推進室 Diffraction and Scattering Division, Center for Synchrotron Radiation Research, JASRI	杉本 邦久 SUGIMOTO Kunihisa 377
第 18 回 SPring-8 産業利用報告会		
The 18th Joint Conference on Industrial Applications of SPring-8	(公財) 高輝度光科学研究センター 放射光利用研究基盤センター 産業利用基盤開発推進室 Industrial Platform Development Division, Center for Synchrotron Radiation Research, JASRI	堂前 和彦 DOHMAE Kazuhiko 379
「meV-Resolved Inelastic X-Ray Scattering」会議報告		
Report of Workshop on meV-Resolved Inelastic X-ray Scattering	(公財) 高輝度光科学研究センター 放射光利用研究基盤センター 精密分光推進室 Precision Spectroscopy Division, Center for Synchrotron Radiation Research, JASRI	石川 大介 ISHIKAWA Daisuke 内山 裕士 バロン アルフレッド UCHIYAMA Hiroshi BARON Alfred 383
「第 7 回大型実験施設とスーパーコンピュータの連携利用シンポジウム」報告		
Report on the 7th Symposium for Cooperative Use of Quantum Beam Facilities and Super Computer	(公財) 高輝度光科学研究センター 放射光利用研究基盤センター 回折・散乱推進室 Diffraction and Scattering Division, Center for Synchrotron Radiation Research, JASRI	筒井 智嗣 TSUTSUI Satoshi 386
SPring-8 シンポジウム 2021 報告		
SPring-8 Symposium 2021 Report	SPring-8 ユーザー協同体 (SPRUC) 行事幹事 / 筑波大学 数理物質系 Faculty of Pure and Applied Sciences, University of Tsukuba 岡山大学 異分野基礎科学研究所 Research Institute for Interdisciplinary Science, Okayama University	西堀 英治 NISHIBORI Eiji 横谷 尚睦 YOKOYA Takayoshi 388

3. SPring-8/SACLA 通信/SPring-8/SACLA COMMUNICATIONS 2022A 期 SPring-8 利用研究課題募集について Call for 2022A SPring-8 Research Proposals 登録施設利用促進機関 (公財) 高輝度光科学研究センター Registered Institution for Facilities Use Promotion, JASRI	397	
第 47 回 (2021B) SPring-8 利用研究課題の採択について The Proposals Approved for Beamtime in the 47th Research Term 2021B 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	398	
2021B 期 採択長期利用課題の紹介 Brief Description of Long-term Proposals Approved for 2021B (公財) 高輝度光科学研究センター 利用推進部 User Administration Division, JASRI	403	
第 46 回共同利用期間 (2021A) において実施された SPring-8 利用研究課題 2021A Proposal and User Statistics 登録施設利用促進機関 (公財) 高輝度光科学研究センター 利用推進部 Registered Institution for Facilities Use Promotion, User Administration Division, JASRI	406	
2016 年度指定パートナーユーザー事後評価報告 Post-Project Review of Partner Users Designated in FY2016 (公財) 高輝度光科学研究センター 利用推進部 User Administration Division, JASRI	411	
2018A 期 採択長期利用課題の事後評価について - 3 - Post-Project Review of Long-term Proposals Starting in 2018A -3- (公財) 高輝度光科学研究センター 利用推進部 User Administration Division, JASRI	412	
2021A 期において実施された SACLA 利用研究課題 (共用課題) について The SACLA Public Proposals and User Statistics in 2021A 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	414	
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	415	
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	418	
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	422	
2021A 期における SPring-8/SACLA ユーザー要望等について SPring-8/SACLA User Requests in 2021A 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	443	
HAXPES ビームライン BL09XU の性能 Present Status of HAXPES Beamline BL09XU (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	保井 晃 YASUI Akira 高木 康多 TAKAGI Yasumasa	445
BL20B2 への多層膜分光器の導入 Installing a Multilayer Monochromator at BL20B2 (公財) 高輝度光科学研究センター 放射光利用研究基盤センター 散乱・イメージング推進室 Scattering and Imaging Division, Center for Synchrotron Radiation Research, JASRI	上杉 健太郎 UESUGI Kentaro 星野 真人 HOSHINO Masato	448
核共鳴散乱を利用した実験の BL35XU 移転によるアップグレードとコミッショニング Upgrade of Nuclear Resonant Scattering by the Move to BL35XU and its Commissioning (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	依田 芳卓 YODA Yoshitaka 永澤 延元 パロン アルフレッド NAGASAWA Nobumoto BARON Alfred	450
利用系活動報告 放射光利用研究基盤センター タンパク質結晶解析推進室 測定技術開発チーム Activity Reports - Experimental Instrumentation Team, Protein Crystal Analysis Division (公財) 高輝度光科学研究センター 放射光利用研究基盤センター タンパク質結晶解析推進室 Protein Crystal Analysis Division, Center for Synchrotron Radiation Research, JASRI	長谷川 和也 HASEGAWA Kazuya	452
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/広島大学 大学院先進理工系科学研究科 Graduate School of Advanced Science and Engineering, Hiroshima University	木村 昭夫 KIMURA Akio	456

人材育成の原点

—第6期科学技術イノベーション基本計画に期待する—

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

少子高齢化の中、「人材育成」の重要性が強調されるようになってきました。しかし、人類の歴史は人材育成の営みの中で世代を繋いできたのであり、人材育成は時代・地域を越えて普遍的なものであり、特に今更強調されるべき事柄ではない、とも云えます。国造りがトリガーになり、明治政府が富国強兵に向けての人材育成を企図したように、昨今は、少子高齢化がトリガーとなり、国力・経済力の維持というプラグマティックな必要性から各分野・各階層で人材育成が強調されています。プラグマティックな視点の人材育成に対しては一定の評価はできまますが、それだけでは限界があると懸念します。ここでは、皆さんからご批判・コメント等をお聴きする機会に繋がればと期待し、標題について私見を述べたいと思います。

人材育成は教育そのものであり、育児は育自とも言われるように、教育する側も教育を通して学び、成長できるプロセスであると考えています。ここで必要なことは相互尊重であり、聖書の言葉を借りれば、「自分を愛するように、あなた方の隣人を愛しなさい」¹⁾の趣旨に相当します。年齢・職位の上下に関係なく、お互いに学び合うという姿勢が重要です。従って、人材育成は、仕事・業務の一部ではなく、人間としての生き方・職業そのものの原点だと思えます。

教育(=人材育成)とは、教師が学生に何かを教えるという一方向の情報伝達ではなく、教師は学生の中に元々備わっている資質(能力、性格、良心等)を「引き出す」ことであるという考え方があり、educationの語源がラテン語のeducatio(引き出す)にあるとも云われています²⁾。このことは、私自身の体験と一致していて、恩師である高良和武先生³⁾から、何かを教え込まれたというよりは、私の中にある何か(好奇心、探究心等)を引き出して頂いたと感じています。実際は色々教えて頂いたにもかかわらず、自分が勉強して自分で育ったという身勝手な解釈だと云われそうですが、その後、21年間東大で教員を務めました。私の接した学生も自分が勉強して自分で育ったと感じているようです。

プラグマティックな側面の人材育成に関して注意すべき点は、「役に立つ人間を育成する」という功利的な狭い人間観に陥らないこと、です。高齢化に伴い、安楽死・高齢者介護のあり方に関連して、「人間の尊厳性」について議論されますが、「人間の尊厳性」は人材育成とも密接に関わる事柄です。

科学技術は、人間の生活を豊かにすることを目指していますが、残念ながら科学的な知識・知見からは「人間の尊厳性の根拠」を見出せずにあります。それどころか、科学的知識は、自然界における適者生存、弱肉強食の不可避性や超自然的存在の否定を通して、嘗て宗教・哲学が論じてきた「人間の尊厳性の根拠」をむしろ懐疑的にさせる傾向性があります。アインシュタインは「宗教なき科学は不具であり、科学なき宗教は盲目である」⁴⁾と云っています。哲学者である金森修氏⁵⁾は、その論文⁶⁾の中で「この神聖的背景を備えた<人間の尊厳>概念は、(中略)、依然として人間存在の超越性を示唆し続けることをやめないだろう。それこそがこの概念の独自の価値なのである」と述べています。歴史的には、宗教が諸文明・文化の基層を成してきたように、宗教はこれまで重要な役割を果たしてきました。しかし、宗教には盲目である側面があることも事実で、その役割には限界があることは明らかです。自然科学・技術に対しても同じ事が云えます。役割だけでなく、その限界もしっかりと意識して、これに対する必要があります。2021年から始まった第6期科学技術イノベーション基本計画では、「人文科学のみに係わる科学技術」がその振興対象に加わりました。上述の事柄に関しても、人文科学者の視点を含めて、総合知を目指した議論が進むことを期待しています。

1) 新約聖書 マタイ 22 章 39 節

2) http://blog.izumishobo.co.jp/sakai/2008/09/post_612.html

3) <https://ja.wikipedia.org/wiki/高良和武>

4) <https://www.iwanami.co.jp/kagaku/KaKa200503.html>

5) <https://ja.wikipedia.org/wiki/金森修>

6) 金森修：「<人間の尊厳性>概念の超越的性格の根源性」、生命倫理 24 (2014) 68-75.

天体衝突を記録する結晶の生成過程の超高速その場計測

京都大学 複合原子力科学研究所

奥地 拓生

Abstract

今から 46 億年前に、誕生したばかりの太陽の周囲で小天体が衝突と合体を繰り返した結果として、地球型の惑星が形成された。これらの小天体では衝撃圧縮による鉱物の結晶構造の相転移が頻繁に起きていたと考えられ、その痕跡である高密度の構造が隕石に残されていた。我々はこの高密度構造の生成の過程を超高速のコマ送り動画の形で計測した。集光した高強度パルスレーザーの結晶への照射によって衝撃圧縮を引き起こし、その直後に同じ場所に集光したフェムト秒 X 線パルスによって結晶の原子配列の変化を計測した。この実験による衝撃圧縮の開始からわずか数ナノ秒の後に高密度構造が生成した。この速さは従来の見解を覆すものであった。小天体の衝突の際には短時間の圧縮は頻繁に起こるので、速い相転移の記録が隕石や小惑星サンプルリターン試料に残されている可能性は高い。それらを丁寧に探していけば、太陽系の衝突の歴史を具体的に描けるだろう。

1. はじめに

46 億年前に、誕生したばかりの太陽の周囲において、無数の小天体が衝突と合体を繰り返して成長した結果として、地球型の惑星や小惑星が形成されたと考えられている。このときに小天体の表層や内部では、天体相互の衝突が引き起こす衝撃圧縮現象によって、構成物質の密度上昇などの状態変化が起きていた可能性が非常に高い^[1]。しかし、このような太陽系初期の衝突の痕跡は、小天体が集まってつくられた最終形である地球の岩石には残されなかった。それは地球ができる過程で高い温度を経験して、痕跡がリセットされたことが理由である。一方で、地球を離れてみると状況は異なってくる。例えば、多くの小惑星には、昔の衝突でできたクレーターの地形がそのまま残存しており、そこにある物質には衝撃圧縮がもたらした状態変化が保存されている可能性がある。

実際に、小惑星から飛来したと考えられる隕石の一部には、そこに含まれる結晶の構造が半永久的に高密度化したものがある。例えば、最も代表的な惑星物質の鉱物の一種であるカンラン石[α -(Mg,Fe)₂SiO₄]の一部が、リングウツダイト[γ -(Mg,Fe)₂SiO₄]という高密度の鉱物種に変化しているという物質観察の結果が、50 年以上前から繰り返して報告されてきた^[1,2]。そのリングウツダイトの一部が、さらにポワリエライト[ϵ -(Mg,Fe)₂SiO₄]というこれまで報告例のなかった新

しい鉱物種に相転移している場合があることを、私たちはごく最近になって発見した^[3,4]。これらの高密度の鉱物を含む隕石はいずれも外見が大きく変形しており、衝突が引き起こす衝撃圧縮現象との深い関わりが推察されてきた。

自然界で起こる衝撃圧縮現象では、物質は時間とともに急激に増減する動的な高圧力環境を経験する。その際に生成したであろう鉱物種をもとに、圧力値や圧縮の継続時間を知りたいところなのだが、これは相転移の具体的な機構と速度論の情報がある議論となり、一般的にはかなりの難題である。一方で、小天体の衝突合体によって成長し終わった後の地球や惑星の内部においては、ほとんど時間変化をしない静的な高圧力環境が生成する。よく知られているように、このような静的な環境で熱力学平衡条件に従って生成する高密度の鉱物種は、高い温度圧力値の再現性の下での合成と回収が可能であり、惑星内部の深さなどの環境条件とそこにある鉱物種との対応付けを正確に行うことができる^[5,6]。

以上をまとめると、動的な高圧力によって生成した鉱物種からその生成環境の情報を読み取ることは、静的な高圧力による鉱物種の場合とは全く異なる課題といえる。先程最新の隕石物質研究の一例として示したポワリエライトは、静的な高圧力実験では未だに合成されていないが、太陽系の誕生史においてはそれが

実際に出現していた。つまり地球形成以前の太陽系における動的な圧力現象は、実験による再現が未だに及ばない物質科学のフロンティアの一つといえる。もし地上で行う衝撃圧縮実験によって、圧力の値と時間変化を制御しつつ、リングウッドイト、ポワリエライトを例とする高密度鉱物種を再現性良くつくりわけることができれば、初期太陽系における衝突の速度（圧力と相関）や衝突天体の大きさ（圧縮継続時間と相関）を具体的に知ることが可能になる。このような情報が太陽系の誕生と進化の歴史の理解に及ぼす意義は極めて大きい。

動的な高圧力によって高密度鉱物をつくりわけるためには、相転移の機構と速度定数の決定ができるように、あらゆる格子ダイナミクスよりも速い時間分解プローブを導入する必要がある。この要請に対して SACLA のフェムト秒 X 線パルスが適切な役割を果たすことができるであろう。本稿では以上の着想のもとに、高強度レーザーと SACLA を組み合わせた実験によって、カンラン石からリングウッドイトが生成する過程を世界で初めて計測した結果を紹介する^[7]。

2. 実験

図 1 に実験の概念図を示す。集光したレーザーパルスの照射により、精密にタイミングを制御した衝撃圧縮状態を物質中に発生させることができる。この技術を利用して、SACLA オンサイトに設置した高強度レーザーシステムにより、60~100 万気圧程度の圧力を合成カンラン石結晶の内部に発生させた。波長 532 nm、半値全幅 (FWHM) 3.3 ± 0.2 ns の可視光レーザーパルスを約 250 μm のビームサイズに集光して、オンターゲットで約 2×10^{12} W/cm² のパワー密度を得た。このレーザーパルスをアブレーター（ポリプロピレンフィルム）と、50 μm 厚さの合成カンラン石単結晶 [α -Mg₂SiO₄] を貼り合わせた実験ターゲットに照射した。アブレーターがレーザーパルスを吸収することで衝撃波が発生して、それがカンラン石へと伝播すると、その Mg、Si、O 原子からなる格子が波の伝播方向 (a 軸に平行に設定) に圧縮される。このときに自然界における衝突現象と同様に、衝撃波自身の性質によって波頭での急速な圧力の上昇が引き起こされる。衝撃波の進行方向に垂直な面における圧力の空間分布は、可

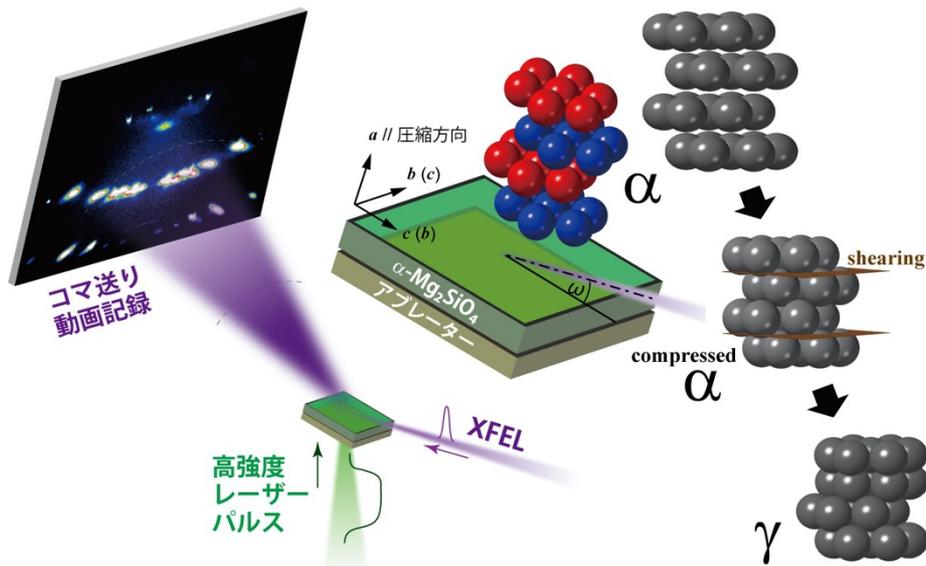


図 1 SACLA BL3 で行った衝撃圧縮実験の概念図。可視光レーザーパルスを 30 μm の厚さのアブレーターに照射する。その場で発生した衝撃波が 50 μm 厚さのカンラン石 (α) へと伝播して、単結晶の a 軸に沿って内部を通過しつつ結晶格子を圧縮する。併せてレーザーと反対側から XFEL パルスを入射させて格子からの回折パターンを計測する。XFEL の遅延時間を変えながら同様の計測を繰り返してコマ送り動画を記録する。XFEL は 50 μm / $\sin 15^\circ \sim 200$ μm ($g = 200$ 反射を $\omega = 15^\circ$ で計測した場合) の距離だけ非圧縮のカンラン石の内部を通過した後、アブレーターとの界面付近に到達して圧縮中の構造をプローブする。通過距離 200 μm は X 線の減衰長と同程度なので、目的の場所の情報を得ることができる。この実験によって、カンラン石の酸素六方最密充填格子がせん断変形 (shearing) を起こし、リングウッドイト (γ) の酸素立方最密充填格子へと転移する過程を観察した。Okuchi *et al.*^[7] の原図の一部を改変。

視光レーザーパルスの形状をほぼ反映する。そのため圧縮される空間のスケールは自然界での衝突よりもはるかに小さくなってしまいが、その中央部の等圧力部分にプローブの XFEL パルスの位置を正確に合わせることができれば、プローブが通過する部分の格子配列の時間変化を空間的に切り出して計測することは十分に可能である。

このようにして可視光レーザーパルスで試料を圧縮しつつ、XFEL パルスを空間的および時間的に重ね合わせて照射することで、圧縮の場において変化しつつある格子配列からの X 線回折画像を計測した。実験ごとにレーザーパルスのタイミングに対する XFEL パルスのタイミングを少しずつずらしていくことで、配列の変化をコマ送りの動画の形で記録した。XFEL パルスは配列の変化の速度よりも十分に短いために、各コマがにじむことはなく、変化を正確に追うことができた。XFEL パルスの光子のエネルギーは 9.99 keV (波長 1.24 Å)、光子のエネルギーの幅は $\Delta E/E \sim 0.5\%$ 、シングルパルスごとのエネルギーは 0.2~0.4 mJ、パルスの FWHM は約 10 フェムト秒であった。XFEL パルスは Kirkpatrick-Baez ミラーを使用して垂直方向に約 15 μm にまで集光した上で、水平方向にもレーザーパルスの直径よりも小さい幅 (200 μm) に切り出すか、または改めて空間幅を狭める (20~30 μm) ために集光した。この手順により衝撃波構造の中央部からの情報を選択的に計測した。結晶が圧縮されている方位と、XFEL パルスの入射の方向をいずれも考慮した上で、観察の対象とする反射 ($g=200$ または 300) の形状が精密に検出されるように、単結晶を設置する方位を細かく制御した (図 1)。例えば特定の XFEL パルス遅延時間 t において圧縮されている格子に対する回折条件を満たす結果を得るために、同じ t において傾斜角 ω を少しずつずらして複数回の実験を行った。レーザーパルスの照射ごとにターゲットが破壊されるので、同じ形態のターゲットを数多く用意しておき、各実験の後には速やかに交換をしながら ω を振った計測を積み重ねた。この手順により、以後に示す回折画像においては、目的となる反射が明確に捉えられている。異なる t および単結晶の設置の方位 (図 1) の結果も同様に実験を繰り返して取得した。

3. 結果

コマ送りの X 線回折画像の解析により、カンラン石が高密度構造へと相転移する過程の時定数を捉えた結果を図 2 に示す。図 2(a) はカンラン石の酸素層の間隔を示す反射 ($g=200$) の形状の詳細な時間変化を高空間分解能の MPCCD 検出器 (素子サイズ 50 × 50 μm^2 、検出面積 51.2 × 51.2 mm^2)^[8] によって記録した結果である。可視光レーザーパルスの照射が $t=0$ ns で開始され、発生した衝撃波は $t=4$ ns でカンラン石に到達した。横軸の回折角 2θ の位置は、ブラッグの条件 $2d\sin\theta = \lambda$ によって隣接する酸素層間の距離 d_{200} と対応付けられる。衝撃波の到達後のカンラン石の d_{200} は初期値の $d_{200}^{\text{atm}} = 2.378$ Å から圧縮された上で、E と P の記号で記された 2 つの反射に分裂した。これらはカンラン石を通過中の弾性波 (E) と塑性波 (P) によって圧縮された領域を起源としており、それぞれの圧縮の程度が互いに異なることは過去の研究でも示されている^[9,10]。

図 2(b) は、 $d = \lambda/2\sin\theta$ を横軸とした次元回折パターンである。衝撃波はその伝播とともに必ず減衰する。この減衰を反映して、 $t=4$ ns 以降の弾性波領域と塑性波領域の酸素層間距離 d_{200}^{E} と d_{200}^{P} は、いずれも時間とともに膨張 (増加) した。その一方で、 $t \geq 7$ ns において、D の記号で記した相転移波を起源とする高密度構造領域からの反射が、E よりも圧縮 (減少) した側に突然現れて急成長した。D の回折角がカンラン石の塑性波領域よりも短い酸素層間距離に対応することから、その出現はカンラン石 (α 、空間群 $Pbnm$) よりも高密度の構造の生成を意味する (図 1)。図 2 の結果のみからこの高密度構造の原子配置を特定することは不可能であるが、それは高密度の $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$ として自然界での存在が確認されている鉱物種である、ワズレアイト (β 、空間群 $Imma$)、リングウッドイト (γ 、空間群 $Fd-3m$)、ポワリエイト (ϵ 、空間群 $Pnma$) のいずれかの構造を持つ可能性が最も高い。これらの構造は、いずれも酸素イオンの近似的な立方最密格子 (ccp) の隙間に陽イオンが配置されたもので、互いに良く似ている (図 3)。隕石ではこの 3 種全ての存在が確認され、地球内部ではワズレアイトとリングウッドイトの二種の存在が確実とされている。繰り返しになるが、衝撃圧縮実験

でつくった構造がこの3種のどれかをさらに突き止めることは、太陽系の物質進化史の解読のためにはとても重要である。

図2(b)において、Dの反射の強度は $t=6$ nsから8 nsのわずか2 nsの間に大きく成長した。複酸化物であるカンラン石の高密度構造が生成するためには、二種の陽イオンと酸素イオンの全てを並び替える必要があるが、この短い時間スケールでそのような現象が観察された事実は過去にはない。隕石の鉱物組織の観察により、カンラン石の高密度構造の生成の際には、原子拡散を伴う過程による結晶成長機構が、秒程度の時間をかけて進展すると考えられてきた^[11-13]。一方で、構成原子が連携してわずかに変位することにより、カンラン石の構造全体がもっと短時間でせん断変形を起こす相転移機構が理論的に提案されていた^[14,15]。この原子拡散を必要としない機構がもし実際に駆動さ

れたならば、短時間のうちに高密度の構造が生成するであろう。カンラン石が酸素の近似的な六方最密格子(hcp)を持つことに対して、高密度構造の全ては立方最密格子を持つ。そのためにせん断変形機構では、酸素層が方位を保ちつつ、ナノ秒の間に層間がずれる過程が必要になる(図1)。従って、ずれる過程の前後において、酸素層がつくる反射の方位はそのまま維持されなければならない。相転移の素早さに加えて、この方位の保存が図2(a)に示すように実験で確認されたことから、せん断変形機構が実際に駆動されたと考えることが合理的である。

せん断変形で生成したと考えられる高密度構造の種類を特定するためには、酸素層の変形挙動のさらなる解析が必要である。そのために大面積(204 × 153 mm²)のX線フラットパネル検出器を用いて、広域の回折画像を取得し、その時間変化を調べた。カンラン

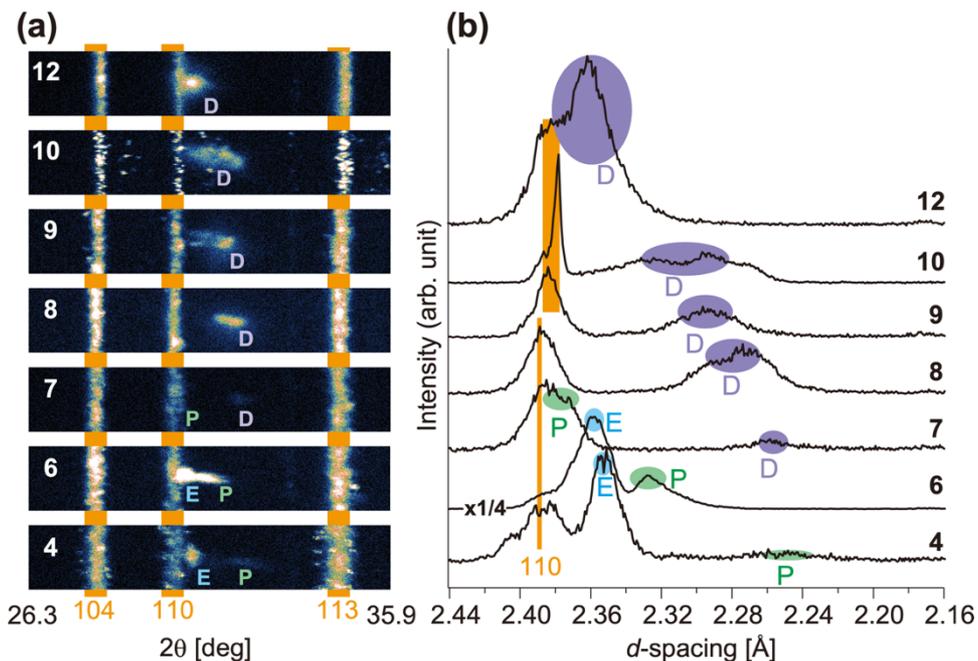


図2 (a) カンラン石の $g = 200$ 反射のX線回折画像の時間変化。数字はナノ秒(ns)を単位としたレーザーパルス照射開始からのXFELの遅延時間 t を示す。E、P、Dの記号は、弾性波、塑性波および相転移波による圧縮領域に由来する反射をそれぞれ示す。この3つの領域の全てにおいて、カンラン石の a 軸方向(画像右方向)に平行に酸素の積層面(図1を参照)が圧縮されていた。なおこれらの実験では、カンラン石を通過後の衝撃波の到達がわかるように、多結晶 Al_2O_3 の薄板をターゲットの背面にさらに張り付けている。オレンジ色の指数がついた3つの反射の帯はこの Al_2O_3 由来のデバイリングである。(b) d 値を横軸として(a)を積分したX線回折パターン。 d 値は右方向に減少する。衝撃波は $t = 4$ nsでカンラン石に到達した。この時点の塑性波領域の d_{200}^{P} は初期値 d_{200}^{1atm} の $94 \pm 1\%$ であり、その値は静的圧縮実験における60~100 GPaでの値に対応する^[20,21]。 $t = 6$ nsにおいて圧縮された領域の体積が増加して、EおよびPのピークが急速に強くなった(縦軸を1/4にダウンスケール)。 $t = 7$ nsにおいて高密度構造が成長を開始した。 $t = 9$ nsにおいてオレンジ色で示す Al_2O_3 反射が圧縮され始め、この時点で衝撃波がカンラン石を横断したことが示された。Okuchi *et al.*^[7]の原図の一部を改変。

石の空間群は消滅則によって $g = 300$ の反射が強度を持たないが、結晶構造が変化して空間群が変わればそれが強度を持ち得るので、この反射には特に注目した。 $t = 4$ ns において ω を振って観察した結果では、圧縮されたカンラン石の $g = 300$ は全く強度を示さなかった。一方で、 $t = 8$ ns 以降においてはこの反射が明確に現れ、その強度が時間とともに大きく増加した (図4)。図2bのDの反射の強度も同様のタイミ

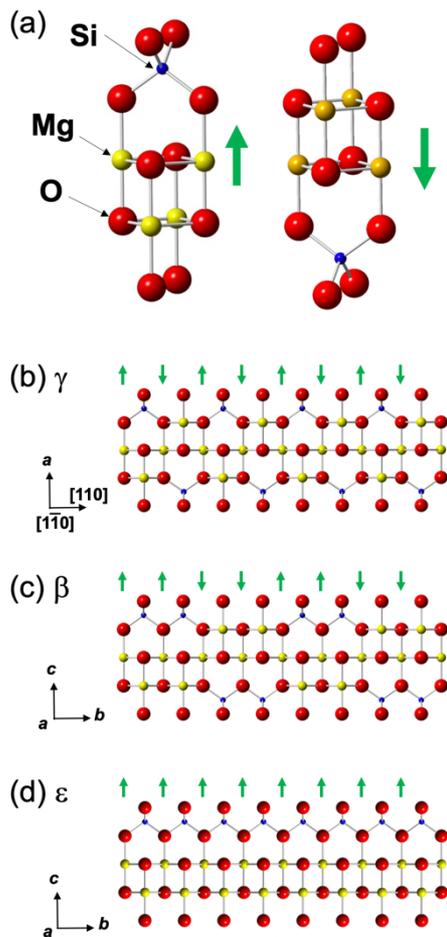


図3 (Mg,Fe)₂SiO₄の高密度結晶構造。ここに示した3種類の構造は、いずれも自然界における存在が確認されている。(a) 各構造をつくる基本単位。(b) リングウッドタイトの構造(スピネル型、密度差+10%)。(c) ワズレアイトの構造(スピネロイド型、密度差+8%)。(d) ポワリエライトの構造(スピネロイド型、密度差+2%)。密度差はカンラン石との比較⁴⁾。各構造間では基本単位(緑矢印)の上向きと下向きの配列の周期が異なる。全構造が酸素の近似的な立方最密充填格子を持つが、密度差の違いが大きいことなどから、それぞれが出現する条件は大きく異なると思われる。各構造の詳細は文献^{3,4)}を参照のこと。Tomioka and Okuchi³⁾の原図の一部を改変。

ングで大きく増加していることから、図2の高密度構造は $g = 300$ の反射が強度を持つ空間群に属した上で、適切な格子定数も持つ必要がある。図3に示した高密度構造の候補のなかで、ワズレアイトとリングウッドタイトがこれらの条件を満たし、ポワリエライトは満たさない。さらに、さきに述べたカンラン石のせん断変形機構に関する理論によれば、リングウッドタイトまたはポワリエライトへの相転移は、酸素層間をすべり面とする変形によって進むことができるが、ワズレアイトへの相転移はそれだけでは困難である。ワズレアイトの生成のためには、まずポワリエライトが生成した上で、酸素層に平行ではないすべり面がもう一度変形する必要がある。以上をまとめると、 $g = 300$ の反射を示す高密度構造は、一方向のせん断変形で生成したリングウッドタイトか、またはポワリエライトを経由した二方向のせん断変形で生成したワズレアイトでなければならない。

可能性をさらに絞るために、 $g = 300$ の反射の形状が円形ではなく、カンラン石の c 軸の方向に沿って引き伸ばされた形状を示すことに注目した(図4)。このように伸長した反射の形状は、伸長の方向に沿った結晶面の間隔が不均一であることを表す。リングウッドタイトの生成の際には、酸素積層はカンラン石の c 軸に沿って変形する必要がある¹⁴⁾。一方で、ポワリエライト経由のワズレアイトの生成の際には、酸素積層は最初にカンラン石の b 軸に沿って変形する必要がある¹⁴⁾。観察されたせん断変形の方位から、 $g = 300$ の反射を示す高密度構造はリングウッドタイトであると結論付けることが合理的である。

4. 議論

リングウッドタイトの衝撃圧縮による生成を確認でき、さらにその生成の速度を決定できたことは、太陽系の衝突史の読解の役に立つ。カンラン石の高密度構造への相転移は、天体衝突(動的圧縮)と地球深部(静的圧縮)の両方の環境で常に起きている現象である。天然および合成の相転移後の試料の観察によって、核形成と成長^{11-13,16,17)}、およびマルテンサイトのせん断変形、の二種の相転移機構が提唱されてきた¹⁴⁻¹⁷⁾。前者の機構では、ある程度の高温での原子のランダムな拡散を通じて、カンラン石の粒界や欠陥に高密度構造

が核形成した後に結晶が成長する。そのために生成する結晶の方位はカンラン石の方位に拘束されない。静的な高温高压条件での実験の結果をもとに、この過程によるリングウツダイトの生成は熱力学的に安定な圧力 (≤ 25 GPa) の下で進むと考えられてきた。この圧力に対応する衝突速度である約 2 km/s において^{11,18)}、キロメートルサイズの天体が互いに衝突した際に、秒のタイムスケールで継続する圧縮が引き起こされる。圧縮の継続時間がこのくらいまで長ければ、高密度鉱物の結晶粒径はマイクロメートル以上に達し得るので、それが光学顕微鏡による早い時代の発見²⁾に繋がったと考えることもできる。

一方で、後者の機構では、粒界とは関係のない結晶粒の内部において、特定の方位を示す板状のリングウツダイトが生成するであろう。条件が許せば、後者の機構は粒界で起こる前者の機構と同時並行で進展す

る。前者の機構の進展に必要な圧縮継続時間が得られない場合や、それに必要な温度に系が達していない場合には、時間や温度についての制約条件のない後者の機構だけが進展する可能性がある。特に、サイズの小さい天体が引き起こす短時間の圧縮においては、そのような状況が卓越し得る。この機構でカンラン石の結晶粒全体が構造相転移を起こすと、その巨視的な外形の全体もせん断変形しなければならない。しかしカンラン石は相転移の前に小天体中で既に圧縮され、周囲の粒子に形状を拘束されているので、結晶の形状の大きな変形は困難である。つまりこの機構が進展した場合には、カンラン石の体積の限定された一部分が相転移するが、その割合の決定の要因は圧力値や圧縮継続時間だけではなく、かなり複雑である。この機構の働きをさらに知るための手掛かりとして、カンラン石を模した酸化物系を静的に圧縮してから回収した試料の

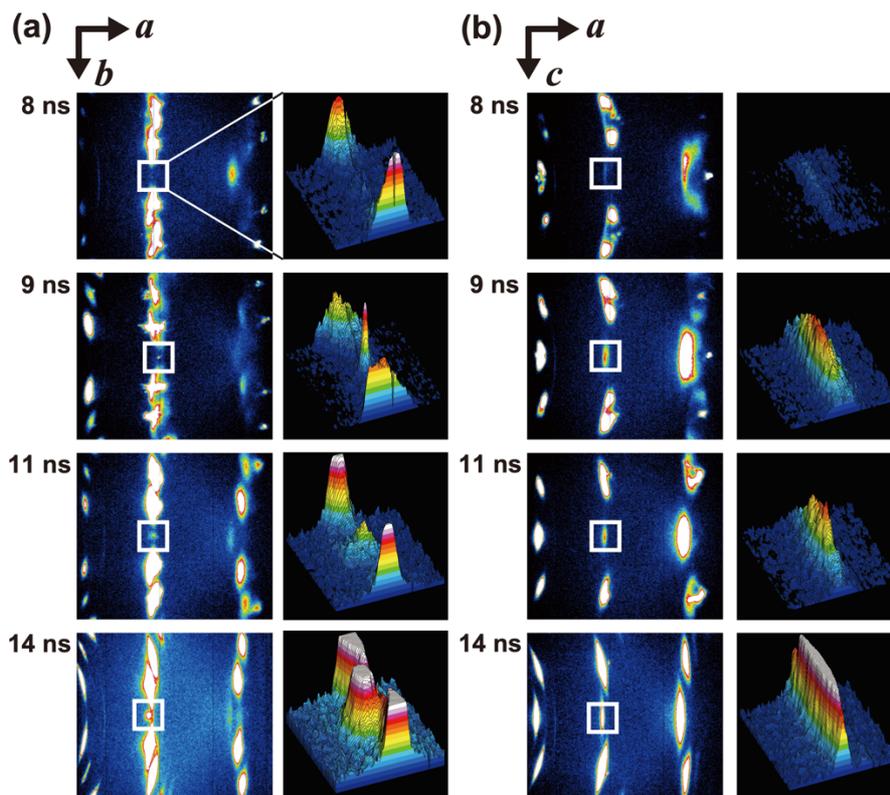


図4 カンラン石の $g=300$ 反射およびその周辺部の X 線回折画像の時間変化。(a) 左右方向を a 軸、上下方向を b 軸の方向に向けて取得した画像。 $g=300$ 反射は白線で囲まれた部分に出現した。右側にその領域の強度分布を拡大して示した。(b) 左右方向を a 軸、上下方向を c 軸の方向に向けて取得した画像。白線と右側の図の意味は上記と同じ。(a),(b)とも左側の系列の図の領域に 2θ が $28^\circ \sim 70^\circ$ または d 値が 2.55 \AA から 1.08 \AA の範囲が含まれており、そこには回折条件を満たす複数の反射が出現した。図 1 に示した XFEL 入射方向、カンラン石方位、検出器配置をもとに、IPAnalyzer^[22]を用いて角度校正を行い、Recipro^[23,24]を用いて回折条件の確認と反射の指数付けを行った。 $g=300$ を除く反射の全てが元の方位のままのカンラン石の構造を起源とすることを確認しており、酸素層の方位が異なる反射の出現は確認されなかった。Okuchi *et al.*^[7]の原図の一部を改変。

中に、板状またはレンズ状のナノメートルスケールの高密度構造が部分的に生成した結果を示すことができる^{16,17)}。そこでは生成した構造の方位関係が保存されていることから、せん断変形による構造相転移機構が駆動した可能性が提唱されていた。

せん断変形による高密度構造の生成は、原子拡散が生じにくい非高温の条件、かつ熱力学的に安定な条件を大きく超えた圧縮が起きた場（高過剰圧下）において、特に効率的に進行すると考えられてきた。実際に、今回の実験によってリングウツダイトが生成した圧力条件である 60~100 GPa は、熱力学的な条件である 25 GPa よりもはるかに大きな値であった。天体衝突時においても同様の現象が起きたとすれば、ナノメートルスケールの板状で方位関係が保存されたリングウツダイトは、熱力学的な条件よりも高い圧力、つまり速い衝突速度によって最も効率良く生成するであろう。また今回の実験では、リングウツダイトからの反射は衝撃圧力の減少段階においてのみ大きく成長した（図 2、4）。その理由は、圧縮のピークにおいてはすべり面に垂直な応力が負荷されて動かない状態になり、この応力が減少した段階ですべり面が動けるようになったためと考えられる。つまり、せん断変形によるリングウツダイトの生成のためには過剰な圧縮が必要であるが、一方で、それが継続した時間の長さは条件にはならない。

以上をまとめると、せん断変形機構によるリングウツダイト生成は、衝突速度が閾値を超えていれば、圧縮の継続時間が短いメートルサイズ以下の小天体の衝突においても効率良く進行する。この推察から、ナノスケールの板状の高密度鉱物が、初期の太陽系から現在に至るまでの間に衝突を経験した多様な物質中¹¹⁾に幅広く凍結されている可能性が示唆される。微小な板状のリングウツダイトが生成しやすい 60~100 GPa の圧力値は、5~7 km/s の衝突速度に対応しており^{11,18)}、これは現在の小惑星帯で観測されている最も一般的な相対速度である¹⁹⁾。つまりナノスケールの衝突の記録は、それを細かく丁寧に探せば、これまでは強い衝撃を受けていないとされてきた隕石や小惑星サンプルリターン物質中に普遍的に見つかるかもしれない。例えば、小惑星の表層を覆う砂礫状のレゴリスは小天体の衝突によって生成したと考えられてき

たが、それが本当かどうか、さらにそれが典型的な速度の衝突であったかどうかを、速度に対して感度のある高密度鉱物の生成によって確かめられる可能性がある。このような視点で多種多様な惑星物質の観察を進めることで、衝突の歴史と衝突速度の記録を広く抽出できれば、初期から現在に至る太陽系の物質進化の歴史の理解が大きく変わるかもしれない。

謝辞

SACLA 利用研究課題 (2019B8032、2019A8036、2018B8039、2018A8033、2018A8036、2017B8051、2017B8080、2016B8083、2016B8084、2016A8065) の実施において多大なご協力を頂いた、神戸大学の瀬戸雄介博士、海洋研究開発機構の富岡尚敬博士、大阪大学の松岡健之博士および尾崎典雅博士、理化学研究所の宮西宏併博士、高輝度光科学研究センターの藪内俊毅博士に感謝します。本研究の一部は科研費 (21H04519、20K20947、20H01965) の助成を受けて行われました。

参考文献

- [1] P. Gillet and A. E. Goresy: *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.* **41** (2013) 257-285.
- [2] R. A. Binns, R. J. Davis and S. J. B. Reed: *Nature* **221** (1969) 943-944.
- [3] N. Tomioka and T. Okuchi: *Sci. Rep.* **7** (2017) 17351.
- [4] N. Tomioka, L. Bindi, T. Okuchi *et al.*: *Commun. Earth Environ.* **2** (2021) 16.
- [5] 大谷栄治: 高圧力の科学と技術 **3** (1994) 12-18.
- [6] 赤荻正樹: 高圧力の科学と技術 **26** (2016) 167-177.
- [7] T. Okuchi, Y. Seto, N. Tomioka *et al.*: *Nat. Commun.* **12** (2021) 4305.
- [8] T. Kameshima, S. Ono, T. Kudo *et al.*: *Rev. Sci. Instrum.* **85** (2014) 033110.
- [9] Y. Syono, T. Goto, J. Sato *et al.*: *J. Geophys. Res.: Solid Earth* **86** (1981) 6181-6186.
- [10] J. P. Wett and T. J. Ahrens: *J. Geophys. Res.: Solid Earth* **88** (1983) 9500-9512.
- [11] P. Beck, P. Gillet, A. E. Goresy *et al.*: *Nature* **435** (2005) 1071-1074.
- [12] E. Ohtani, Y. Kimura, M. Kimura *et al.*: *Earth Planet. Sci. Lett.* **227** (2004) 505-515.

- [13] M. Chen, A. E. Goresy and P. Gillet: *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **101** (2004) 15033-15037.
- [14] M. Madon and J. P. Poirier: *Phys. Earth Planet Inter.* **33** (1983) 31-44.
- [15] J. P. Poirier: in *High Pressure Research in Geophysics* (eds S. Akimoto & M. H. Manghnani) (Springer Netherlands, 1982) 361-371.
- [16] J. N. Boland and L. G. Liu: *Nature* **303** (1983) 233-235.
- [17] P. C. Burnley: *Am. Mineral.* **80** (1995) 1293-1301.
- [18] F. Zhang and T. Sekine: *Geochim. Cosmochim. Acta* **71** (2007) 4125-4133.
- [19] W. F. Bottke Jr., M. C. Nolan, R. Greenberg *et al.*: *Icarus* **107** (1994) 255-268.
- [20] D. Andrault, M. A. Bouhifd, J. P. Itié *et al.*: *Phys. Chem. Minerals* **22** (1995) 99-107.
- [21] G. J. Finkelstein, P. K. Dera, S. Jahn *et al.*: *Am. Mineral.* **99** (1994) 35-43.
- [22] <https://github.com/seto77/IPanalyzer/>
- [23] <https://github.com/seto77/ReciPro/>
- [24] Y. Seto and M. Ohtsuka: *J. Appl. Cryst.* under review.

奥地 拓生 OKUCHI Takuo

京都大学 複合原子力科学研究所
〒590-0494 大阪府泉南郡熊取町朝代西 2 丁目
TEL : 072-451-2494
e-mail : okuchi@rri.kyoto-u.ac.jp

(SPRUC 2021 Young Scientist Award 受賞 研究報告)

コヒーレント X 線を用いたレンズレス時空間階層イメージング法の開発

兵庫県立大学 大学院理学研究科
高山 裕貴

Abstract

デバイスや材料のナノメートルからマイクロメートルに亘る空間階層構造と機能特性の相関解明を目指し、コヒーレント回折イメージング (CDI) と呼ばれるレンズレスイメージング法の開発を進めてきた。特にオペランド下や機能環境下でのその場観察に向けて、大気環境下で計測可能な硬 X 線 CDI 及びタイコグラフィシステムを兵庫県 ID ビームライン BL24XU に構築し、電子顕微鏡では観察が難しい湿潤ガスや酸化還元ガス雰囲気下でのミクロンサイズ機能性粒子の構造応答可視化や実用材料の三次元構造解析を産業界ユーザーと共同で進めてきた。更に、機能中の構造動態の可視化に向けて、時分割イメージング法であるマルチショット CDI を独自に開発し、10–100 fps と従来より 100 倍以上高い時間分解能での動的ナノイメージングを実現した。

1. はじめに

デバイスや材料の微細構造化・複合化が進み、その構造-機能相関の理解と特性制御には、ナノメートルからマイクロメートルに亘る空間階層構造を機能中の動態や劣化過程も含めて可視化することが重要となっている。我々は、動作中のデバイスや機能環境中の材料試料の非侵襲構造評価に向けて、硬 X 線コヒーレント回折イメージング (coherent diffraction imaging, CDI) 法の開発に取り組んできた^[1-3]。

CDI はレンズレスイメージング法の 1 種であり、硬 X 線領域では加工の難しい対物レンズの代わりに計算機アルゴリズムを像形成に用いることで、高い空間分解能を実現する^[4,5] (図 1)。具体的には、アンジュレータから放射される空間的にコヒーレントな X 線で試料を照明し、試料遠方でフラウンホーファー回折パターンを計測する。その回折強度分布は試料透過波動場のフーリエ振幅の二乗に比例するため、反復的位相回復アルゴリズム^[6-8]により失われた位相情報を復元することで、逆フーリエ変換により試料電子密度に比例する位相コントラストと化学状態を反映した吸収コントラストの投影像を同時に再生することができる。短波長かつ透過能の高い硬 X 線をプローブとし、計算機トモグラフィ (computed tomography, CT) と組み合わせることで、電子線が透過しないマイクロメートル以上の厚みの試料の三次元構造を非侵襲で内部まで観察可能である。

J. Miao による 1999 年の実証実験^[4]以降、CDI は世界中の放射光施設で開発が急速に進められてきた。初期の CDI (図 1b) は試料全体を平面波中に浴し、試料形状を拘束条件として位相回復を行うため^[6]、対象はマイクロメートルサイズ以下の粒子状試料に限られていた。一方、局所照明による走査型 CDI であるタイコグラフィ (ptychography; 図 1c)^[9]が 2004 年に提案された。照射野の一部が重なるように計測し、重畳領域の構造が一致するよう位相回復することで非粒子状試料の局所イメージングが可能となり^[7,8]、その応用の幅は格段に広がった。

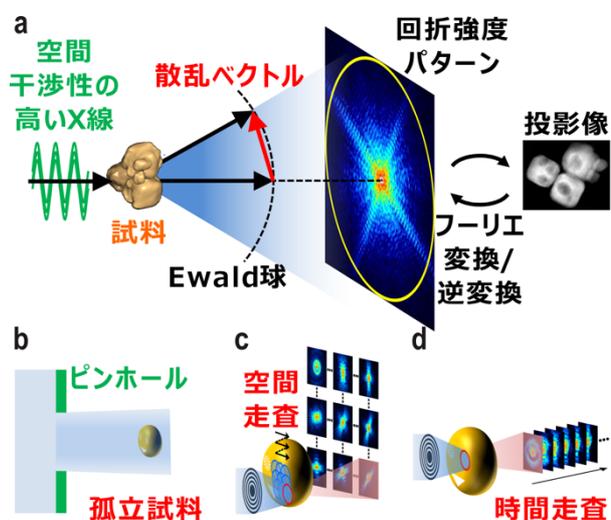


図 1 (a) CDI 法の原理、(b) 平面波照明 CDI、(c) タイコグラフィ、(d) マルチショット CDI の模式図。

本稿では、我々が兵庫県 ID ビームライン BL24XU に構築した各種 CDI システムについて紹介する。我々は、特にデバイス動作や複合材料の各種応答における構造動態のオペランド/その場観察を目指して、大気環境下で計測可能な平面波照明 CDI 及びタイコグラフィ装置を開発し^[1,2]、2019 年から供用して産業利用を中心に応用展開を図ってきた。更に、未開発であった CDI による動的イメージング法を、新たな着想の位相回復アルゴリズムと照明光学系を組み合わせたマルチショット CDI 法(図 1d)の開発により実現し、従来より 100 倍以上高い 10–100 ミリ秒時間分解能での動的試料の動画観察に成功した^[3]。

2. 平面波照明 CDI・タイコグラフィ

我々は、まず機能性粒子のナノ構造動態のその場観察に向けて、大気環境下やガス雰囲気下での計測が可能な平面波照明 CDI システムを構築し^[1]、続いてデバイスのオペランド観察や複合材料の各種応答のその場観察を目指して、タイコグラフィによる非粒子状試料の局所観察へと高度化した^[2] (図 2a)。照明光学系には、平面波照明 CDI ではピンホール光学系、タイコグラフィでは次項で詳述するゾーンプレート縮小投影照明光学系を採用しており、光子エネルギー 7–10 keV で運用している。計測ソフトウェアは二次元イメージングの他、CT やエネルギー走査測定が可能であり、位相回復計算による投影像の再生までを自動で実行する。これまでに二次元で ~ 10 nm、三次元で ~ 40 nm の空間分解能を達成している (図 2b-d)。応用先はエネルギー・電子デバイス材料や有機材料、構造材料など多岐に亘る。

平面波照明 CDI は完浴型であるため試料ドリフトに鈍感かつ時間分解能が高い利点があり、 $2 \mu\text{m}$ 程度以下の粒子を対象に多孔質粒子の湿潤空気雰囲気下での毛管凝縮^[4]や構造化燃料電池触媒の酸化還元ガス雰囲気下での初期エージング^[5]のその場観察を実現した。タイコグラフィでは、広視野投影イメージングや FIB 加工により $5\text{--}10 \mu\text{m}$ 角のピラー状に切り出した試料の位相 CT 観察が実施されており、自動車塗膜のバインダー樹脂中 TiO_2 顔料粒子^[6]やゴム中フィラー粒子の分散状態、エンジン内堆積物の加熱硬化形成過程に起因した不均一な組成分布^[7]、構造材料の力学

特性と関連したメソ構造などを可視化した。タイコグラフィの位相コントラストは定量性が高く、 $\sim 0.1 \text{ g/cm}^3$ 程度の密度差に相当するコントラストが得られている。他に、吸収端を利用した化学状態の可視化や MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) ヒーターによる加熱環境下での観察も進めている。

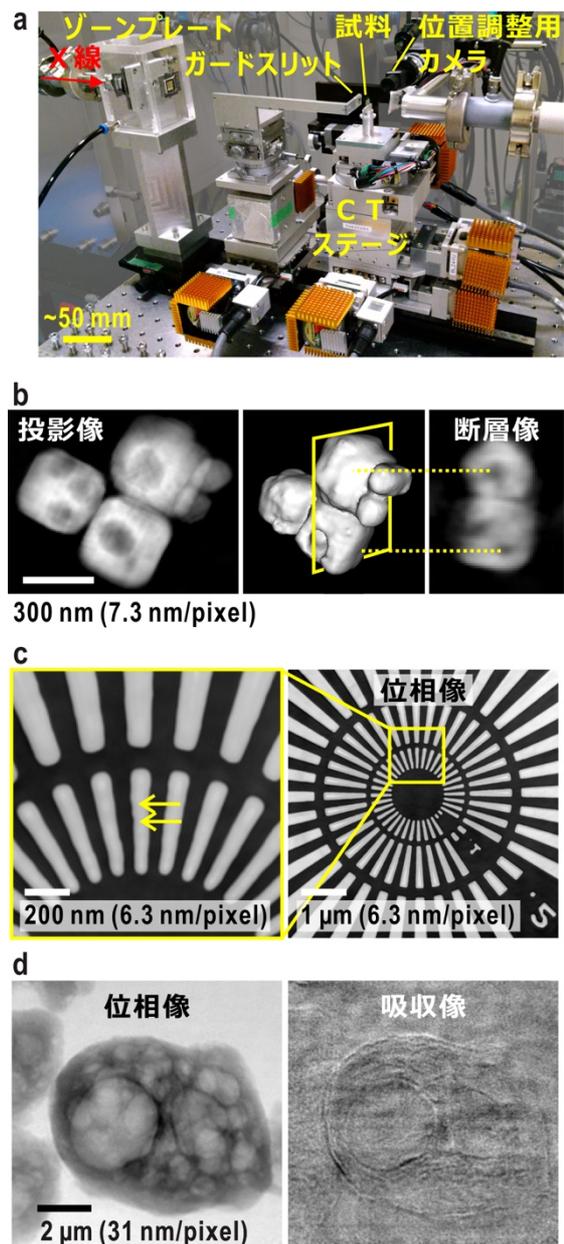


図 2 (a) 大気環境型タイコグラフィ装置。1.4~3.1 m 上流のピンホール像をゾーンプレートで試料上に縮小結像して照明し、4.5~3.3 m 下流の二次元検出器で回折パターンを計測する。(b) 平面波照明 CDI-CT による金コロイド粒子内部空隙の可視化。(c, d) タイコグラフィによるタンタル製分解能チャートでの空間分解能評価(c)及び、複合樹脂材料(位相物体)の可視化(d)。

3. マルチショット CDI の開発

開発した CDI システムを更にオペランド/その場動的イメージングへ展開する上で、既存の CDI 技術には大きな課題があった。計測上、(1) 局所イメージングが可能なタイコグラフィは走査型であるため、照射野の移動に 0.1–0.3 秒程度のオーバーヘッドが生じ、数秒～数十秒より高い時間分解能の実現は困難であった。また、位相回復アルゴリズムでは、(2) 動的な試料は回折パターン 1 フレームの露光中も構造が時々刻々と変化するが、これまで提案されたアルゴリズムは静的な回折データを仮定していること、(3) 動的イメージング向けとして提案されたアルゴリズム^[12,13]も拘束条件として視野内の一部が静的であることを前提としており、対象が限定的であることが課題であった。そのため、視野内全体で構造変化が生じる系での CDI による動的イメージングは実現しておらず、秒より速い時間スケールのナノダイナミクスは時分割小角散乱や X 線光子相関分光法などにより逆空間で計測されてきた。

そこで我々は、動的試料の特徴を位相回復アルゴリズムに取り入れることで上記課題を解決した、マルチショット CDI 法 (図 1d) を開発した^[3]。本手法では、試料上のイメージング領域を局所照明し、時間走査により時分割回折データセットを取得して、全時間フレームに亘って位相回復アルゴリズムを適用する。タイコグラフィのように空間走査を行わないため、検出器フレームレート程度の時間分解能が期待できる。例えば、光子計数型検出器 EIGER X 1M (Dectris Ltd,

Switzerland) では最大 3,000 fps である。また、測定系はタイコグラフィと共通であり、タイコグラフィによる広視野イメージングとマルチショット CDI による局所動的イメージングを相補的に用いることができる。

時分割回折データセットからの位相回復を実現するために、我々はタイコグラフィで用いられる extended Ptychographic Iterative Engine (ePIE)^[7] を基に、マルチフレーム位相回復法^[3]を開発した (図 3)。本手法では、1 フレーム露光中の試料構造変化を扱うために、試料像をサブフレーム分割し、各サブフレームから計算される回折強度の和として計測データを表現する。即ち、 n 番目の回折強度フレーム I_n を $2L + 1$ 枚のサブフレーム $I_{n,l}$ に分割し、

$$I_n \approx \sum_{l=-L}^L I_{n,l} \quad \dots (1)$$

と表す。ここで、 $I_{n,l}$ は、対応する試料複素透過率像サブフレーム O_{m+l} と時間に依存しない照射波動場 P を用いて、

$$I_{n,l} = |\mathcal{F}[PO_{m+l}]|^2 \quad \dots (2)$$

と表せる。 $\Psi_{m+l} \equiv PO_{m+l}$ が試料直後の透過波動場であり、フーリエ変換演算子 \mathcal{F} により、検出器面でのフラウンホーファー回折波動場 $\mathcal{F}[\Psi_{m+l}]$ を得る。本研究では $L = 1$ として 3 枚のサブフレームに分割した。照射波動場 P はタイコグラフィにより実験的に計測できるので、回折強度フレーム I_n の計測値と計算値の誤差を最小化するように試料サブフレーム O_{m+l} の最適化問題を考えると、次の更新式を得ることができる。

$$\Psi'_{m+l} = \mathcal{F}^{-1} \left(\frac{\sqrt{I_n}}{\sqrt{\sum_{l=-L}^L |\mathcal{F}[PO_{m+l}]|^2}} \mathcal{F}[PO_{m+l}] \right) \quad \dots (3)$$

$$O'_{m+l} = O_{m+l} + \alpha \frac{\bar{P}}{|P|_{\max}^2} (\Psi'_{m+l} - PO_{m+l}) \quad \dots (4)$$

\bar{P} は P の複素共役である。式(3)にて途中解 O_{m+l} から計算される回折波動場の振幅を、計測値と式(1)-(2)による計算値の比でスケールリングして逆フーリエ変換することで試料透過波動場 Ψ_{m+l} を更新し、式(4)にて更新前後の透過波動場の差分から試料サブフレーム O_{m+l} の変化分を算出して更新前の O_{m+l} に加える。ここで、更新量はフィードバックパラメーター α で調整され、また照明強度の最大値 $|P|_{\max}^2$ でスケールリング

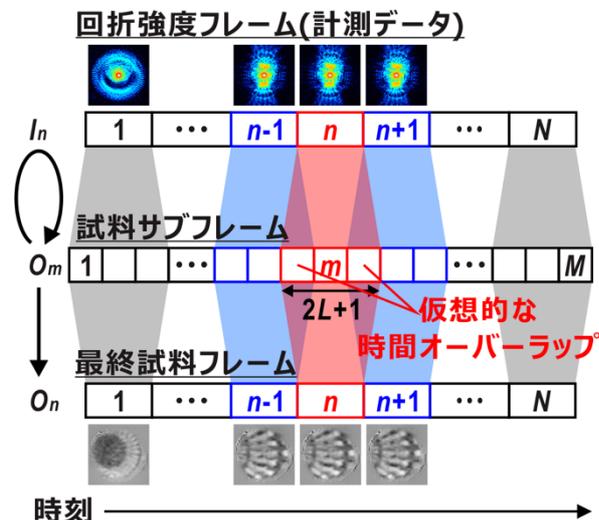


図3 マルチフレーム位相回復法の模式図。

することでノイズの影響を低減する。式(3)-(4)の操作を全ての試料サブフレームに適用して1反復とし、250–400反復して収束解を得る。

ただし、上式による更新では各試料サブフレーム間はほとんど相関しておらず、高い収束性を実現できない。そこで、新たな着想として構造変化が時間的及び空間的に連続に生じることに着目し、隣接する試料サブフレームを相関させる2つの拘束条件を導入した。まず、各時間フレームの境界に位置する試料サブフレームは前後の時間フレームで共通とする仮想的な時間オーバーラップを導入し、再生する動的イメージの時間連続性を担保した(図3)。また、圧縮センシングで用いられる全変動正則化^[14,15]を動的イメージの時間及び空間方向に適用することで、時空間方向の連続性の向上を図った。全変動正則化は、動画像の画素値の勾配の絶対値総和が小さくなるよう制約を課すものであり、構造特徴を保存しながら、より時空間連続

性の高い解に近付けることができる。試料サブフレームの時刻は不定なため、収束解のサブフレームを時間方向にビンニングして元のフレームレートに戻し、最終像とした。

マルチフレーム位相回復アルゴリズムを適切に機能させるには、照明光学系の開発も必要であった。通常の照明光学系は無限遠にある光源像を試料上に投影するため、回折により裾野が広がる(図4a)。試料の空間走査を行わない場合、照明強度の低い領域は再生像のシグナル対ノイズ比が低下するだけでなく、位相回復計算の更新量も抑えられ、像の更新が視野内で不均一になるため解への収束が難しくなる。そこで我々は、照明強度の均一なトップハットビームを形成するために、縮小投影照明光学系を開発した(図4b)。本光学系では直径 $\sim 20\ \mu\text{m}$ のピンホールをコヒーレント照明し、そのピンホール像をゾーンプレートで縮小して試料上へ結像する。空間分解能 $\sim 100\ \text{nm}$ のゾーンプレート(FZP-S86/416; NTT-AT, Japan)を用いて縮小倍率1/5–1/10の縮小投影光学系を構築し、図4cのように波動光学シミュレーションを良く再現するトップハットビームを形成することができた。現在、BL24XUのタイコグラフィ及びマルチショットCDIに採用している。

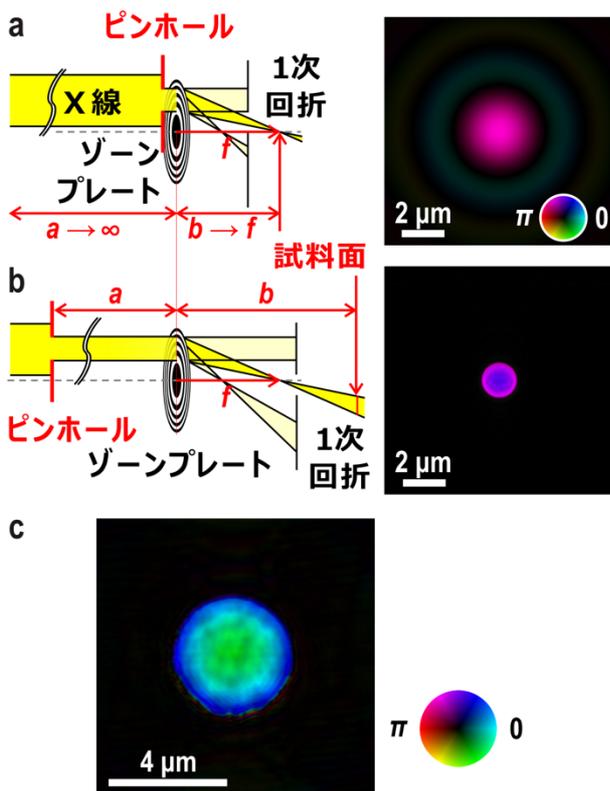


図4 (a) 通常の照明光学系と、(b) 縮小投影照明光学系の波動光学シミュレーション。縮小投影照明光学系では、焦点距離を f として、ピンホール、ゾーンプレート及び試料が薄レンズの公式 $1/a + 1/b = 1/f$ を満たすように配置される。(c) タイコグラフィにより実測した縮小投影照明波動場。振幅を明度、位相を色相で表示している。縮小倍率は1/12(b)と1/5(c)。

4. マルチショット CDI の実証

まず、金コロイド粒子分散系のブラウン運動シミュレーションによってマルチショット CDI の可視化性能を評価し、続いてタンタル製分解能チャートの並進運動を動的イメージングすることで実証実験を行った^[3]。何れも光子エネルギーを8 keVとし、シミュレーションはBL24XUでの実装を基に波動光学計算で得た照明波動場を用いて行った。

金コロイド粒子ブラウン運動のマルチショット CDI シミュレーション結果の一部を図5に示す。金コロイド粒子直径は400 nm、分散媒をグリセリン水溶液とし、グリセリン濃度及び系の温度を変えることでブラウン運動の根平均二乗変位 (root mean square displacement, RMSD) を0.16–3.22 pixels/frame (40 nm/pixel) の範囲で調整し、10 ms/frameでマルチショット CDI シミュレーションを行った。RMSD 0.64 pixels/frameでも回折パターンの干渉縞(スペ

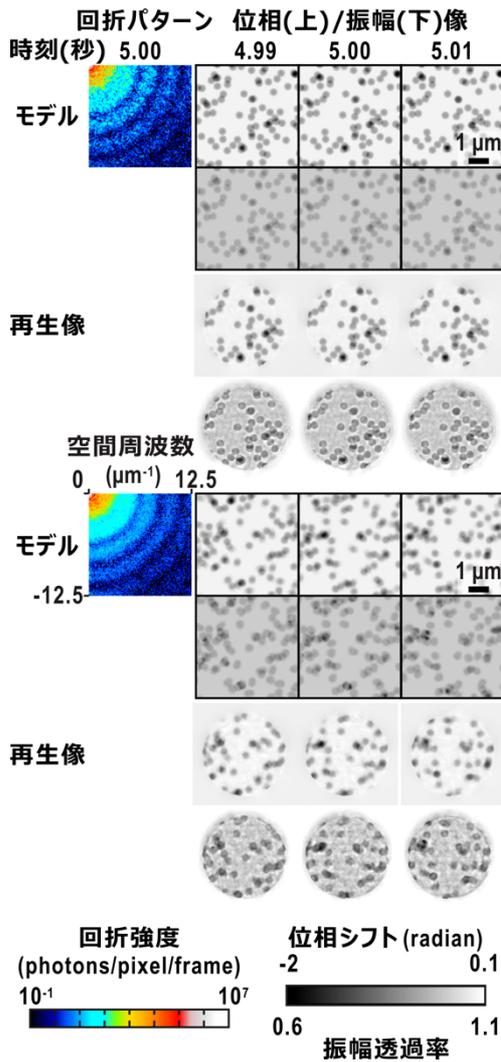


図5 金コロイド粒子ブラウン運動系でのマルチショット CDI シミュレーション。RMSD 0.64 (上) 及び、3.22 (下) pixels/frame。

ックルと呼ばれる) は鮮明であり、個々のフレームはほぼ静的であるとみなせる。一方、RMSD 3.22 pixels/frame では、スペックルは1 フレーム露光中に時間平均されて不鮮明である。それにもかかわらず、マルチフレーム位相回復アルゴリズムにより、何れのブラウン運動もモデルを良く再現する動的イメージを再生することに成功した。ePIE による再生では位相像でも粒子位置の判別は難しく^[3]、提案手法による動的イメージング性能の劇的な改善が分かる。また、マルチフレーム位相回復では、硬 X 線領域では本質的に低コントラストである吸収像も明瞭に可視化された。吸収像が可視化されたことで、吸収端近傍でマルチショット CDI を行うことにより、特定元素の空間分布変化の可視化や、化学状態の変化をコントラストの明滅として捉えることができると期待される。

続いて、逆空間での計測では解釈が難しい系として、タンタル製分解能チャート (XRESO-50HC; NTT-AT, Japan) を 125 nm/s で並進運動させ、その過程をマルチショット CDI により 100 ms/frame で可視化した (図6)。再生した動的イメージの画素サイズは 43 nm であり、並進速度は 0.29 pixels/frame に相当する。時分割測定により 1 フレーム当たりの露光量はタイコグラフィと比べて著しく低下するため、タイコグラフィ像 (図 2c) と比較すると空間分解能は制限されるが、79 nm の線幅まで解像可能な動的イメージを再生することに成功した。開発当時は検出器のダイナ

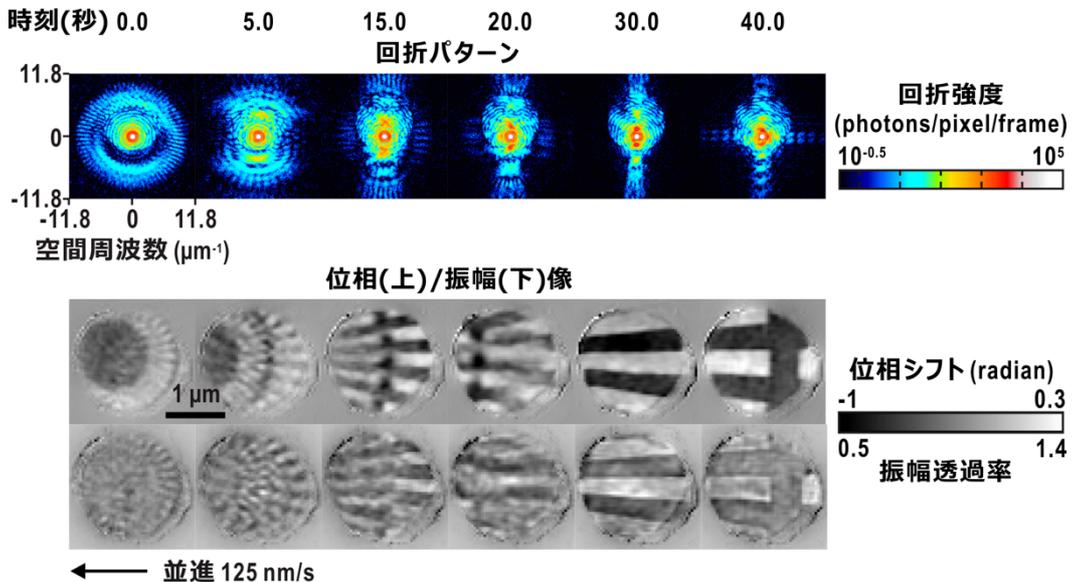


図6 タンタル製分解能チャート並進運動でのマルチショット CDI 実証実験。

ミックレンジにより照射フラックスが $\sim 3 \times 10^7$ photons/s に制限されていたが、現在では特に光子計数率が高い回折パターンの原点付近にシリコン製の減衰板を挿入し、更に部分コヒーレンスを取り扱う混合状態アルゴリズム^[16]をマルチフレーム位相回復法に組み込むことで、照射可能なフラックスを10倍向上している。また、視野(ビームサイズ)も $4 \mu\text{m}$ に拡大した(図4c)。次世代放射光でのコヒーレントフラックス増大により、更なる時空間分解能の向上と応用機会の拡大が期待される。

5. 将来展望

今後、オペランド/その場観察へと展開する上で、回折限界に起因する試料厚みの制限は避けられない問題である。回折限界空間分解能 Δ でイメージングする場合、試料は被写界深度(depth of field, DoF)内に浴する必要がある、イメージング波長を λ と置くと、 $\text{DoF} \sim \Delta^2/\lambda$ となる^[17,18]。例えば、10 nmの空間分解能を目指す試料厚み上限はミクロンオーダーとなる。この関係はレンズレス/レンズベースを問わないが、波動伝播過程に基づいて試料像を再生するCDIの場合、試料を伝播方向に分割して試料内波動伝播も含めて取り扱うことで、DoFを超えた厚みの試料の深さ分解イメージングが可能なのがタイコグラフィで示されている^[18,19]。マルチショットCDIでもこのアプローチを取ることで、深さ分解・動的イメージングへと展開していきたい。厚い試料を対象とすることで散乱断面を補うことができ、時空間分解能の向上も期待できる。また、材料特性は多元化や結晶相の制御により向上が図られており、元素や化学状態、結晶相の空間分布を同時に可視化することも重要である。マルチコントラスト化についても、マルチショットCDIを応用した、DoFの回折限界を超える手法の開発に着手したところである。今後も、レンズレスイメージング技術を深化させることで、高度でユニークな可視化研究を実現し、放射光科学と応用諸分野の発展に貢献していきたい。

謝辞

本研究は、兵庫県立大学大学院理学研究科X線光学分野において、籠島靖教授、高見侑希氏、福田敬三氏、

青井雄幹氏、赤田樹氏、川島基樹氏、重松大樹氏、松崎彬氏、沼田あゆみ氏らと共同で実施された。また、研究遂行及び技術供用化にあたってご支援頂いた兵庫県ビームラインスタッフ各位、実用展開に向けてサンプル提供や有益なフィードバックを頂いているユーザー各位に深く感謝申し上げます。本研究は日本学術振興会科研費 若手研究(16K21621、19K14678)、兵庫県立大学 特別研究助成(2016)、公益財団法人ひょうご科学技術協会 学術研究助成(2017)、株式会社東芝 研究開発センター(2017-2020)などの支援を受けて実施された。本稿で紹介したCDI技術の開発は、SPring-8 兵庫県 ID ビームライン BL24XUにおいて、課題番号 2016A3200、2016B3201、2017A3201、2017B3201、2018A3201、2018B3201、2019A3201、2019A3297、2019B3201、2020A3201として実施された。

参考文献

- [1] Y. Takayama, Y. Takami, K. Fukuda, T. Miyagawa and Y. Kagoshima: *J. Synchrotron Rad.* **25** (2018) 1229-1237.
- [2] Y. Takayama, Y. Tsusaka, Y. Kagoshima, S. Kuwamoto, Y. Urushihara *et al.*: *SPring-8/SACLA annual report FY2018* (2020) 132-135.
- [3] Y. Takayama, K. Fukuda, M. Kawashima, Y. Aoi, D. Shigematsu *et al.*: *Commun. Phys.* **4** (2021) 48.
- [4] J. Miao, P. Charalambous, J. Kirz and D. Sayre: *Nature* **400** (1999) 342-344.
- [5] H. M. L. Faulkner and J. M. Rodenburg: *Phys. Rev. Lett.* **93** (2004) 023903.
- [6] J. R. Fienup: *Appl. Opt.* **21** (1982) 2758-2769.
- [7] A. M. Maiden and J. M. Rodenburg: *Ultramicroscopy* **109** (2009) 1256-1262.
- [8] P. Thibault, M. Dierolf, A. Menzel, O. Bunk, C. David *et al.*: *Science* **321** (2008) 379-382.
- [9] 伊藤孝憲、今井英人、黒木秀紀、田巻孝敬、山口猛央他: 第16回SPring-8産業利用報告会予稿集(2019) P044/H-13.
- [10] 末広省吾、幸坂崇、小林秀雄、高山裕貴: *塗装工学* **56** (2021) 204-210.
- [11] 末広省吾、辻下昌之、相良啓太、幸坂崇、高山裕貴: 第18回SPring-8産業利用報告会予稿集(2021) P25/HO-01.

- [12] Y. H. Lo, L. Zhao, M. Gallagher-Jones, A. Rana, J. J. Lodico *et al.*: *Nat. Commun.* **9** (2018) 1826.
- [13] G. N. Hinsley, C. M. Kewish and G. A. van Riessen: *Opt. Exp.* **28** (2020) 36862-36872.
- [14] L. I. Rudin, S. Osher and E. Fatami: *Phys. D* **60** (1992) 259-268.
- [15] A. Chambolle: *J. Math. Imag. Vis.* **20** (2004) 89-97.
- [16] P. Thibault and A. Menzel: *Nature* **494** (2013) 68-71.
- [17] Y. Kagoshima and Y. Takayama: *J. Synchrotron Rad.* **26** (2019) 52-58.
- [18] A. Suzuki, S. Furutaku, K. Shimomura, K. Yamauchi, Y. Kohmura *et al.*: *Phys. Rev. Lett.* **112** (2014) 053903.
- [19] A. M. Maiden, M. J. Humphery and J. M. Rodenburg: *J. Opt. Soc. Am. A* **29** (2012) 1606-1614.

高山 裕貴 TAKAYAMA Yuki

兵庫県立大学 大学院理学研究科
〒678-1297 兵庫県赤穂郡上郡町光都 3-2-1
TEL : 0791-58-0233
e-mail : takayama@sci.u-hyogo.ac.jp

(SPRUC 2021 Young Scientist Award 受賞 研究報告)

GeV 光子ビームを用いたハドロン質量起源の探索

大阪大学 核物理研究センター

富田 夏希

Abstract

BL31LEP (LEPS2 ビームライン) では、GeV エネルギー領域の光子ビームを用いた原子核ハドロン実験を行っている。GeV 光子ビームは SPring-8 蓄積リングにレーザー光を入射し、8 GeV 電子との逆コンプトン散乱により生成している。LEPS2 実験棟において 2014 年から開始した BGOegg 実験では、 η' 中間子をプローブとしたハドロンの質量起源を探る実験が行われている。本報告では、BL31LEP ビームラインの紹介、およびハドロンの質量生成機構を探る鍵となる η' 中間子-原子核束縛状態探索実験の結果を報告する。

1. BL31LEP (LEPS2 ビームライン)

BL31LEP (LEPS2 ビームライン) は、SPring-8 で唯一のハドロンを研究対象とした専用ビームラインである。ハドロンとは強い相互作用で結びついてできた複合粒子を差す。クォーク 3 つから成る陽子や中性子、クォーク・反クォークから成る π 中間子などがハドロンである。前身の BL33LEP (LEPS ビームライン) で行われてきた LEPS 実験ではクォーク・反クォーク 5 つから成るエキゾチックなハドロンであるペンタクォークや、u、d クォークよりも重い s クォークの入ったハドロンの研究などが行われてきた^[1,2]。ハドロン反応

の測定には大型検出器が必要であり、実験ハッチが蓄積リング棟内にある LEPS ビームラインでは検出器が散乱前方の領域のみにしか設置できないことが問題となっていた。そこで 2011~2012 年に、新しいビームライン BL31LEP (LEPS2 ビームライン)、および蓄積リング棟外に広い LEPS2 実験棟が建設された。図 1 に LEPS2 実験棟の内部を示す。BGOegg 検出器 (図 2) は GeV 領域のガンマ線エネルギーを世界最高分解能 (1 GeV で 1.3%) で測定できる大立体角電磁カロリメーター検出器である^[3]。2014 年度より、 π^0 中間子 ($\rightarrow \gamma\gamma$)、 η 中間子 ($\rightarrow \gamma\gamma$) といった、ガンマ線に崩壊するハドロンの研究を主目的とした BGOegg 実験が開始した。LEPS2 スペクトロメーターはソレノイド電磁石を用いた、荷電粒子およびガンマ線に崩壊するハドロンの両方を大立体角で測定可能なシステムである^[4]。2021 年度より LEPS2 スペクトロメーターを用いた LEPS2 スペクトロメーター実験が開始している。

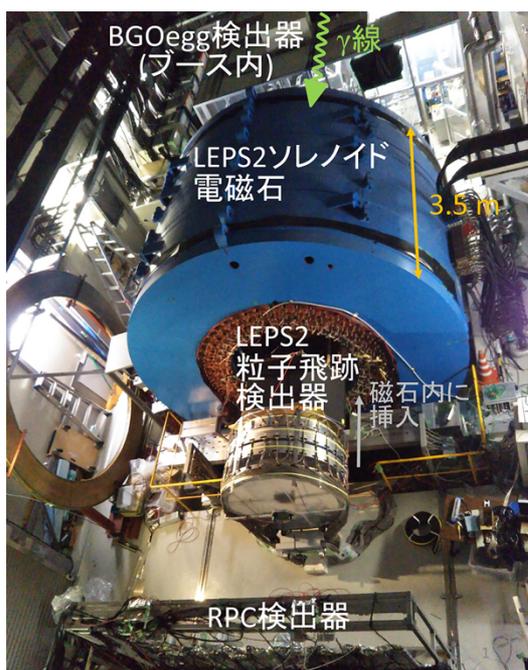


図 1 LEPS2 実験棟内部



図 2 BGOegg 検出器

筆者はBGOegg実験に用いる検出器のうち、Resistive Plate Chamber (RPC) 検出器と呼ばれる、粒子の飛行時間測定用の検出器の開発を担当した。日本では利用例のない検出器で、2010年より開発を開始し、250 cm²の大面积読み出しストリップで、60 psの時間分解能を持つRPC検出器の開発に成功した。2014年には実機の製作およびインストールを行った(図3)^[5-7]。

2. レーザー電子光

BL31LEP (およびBL33LEP) では、SPring-8蓄積リングにレーザーを入射し、レーザー光と8 GeV電子の逆コンプトン散乱によりGeVエネルギーのガンマ線ビームを生成している。この高エネルギーガンマ線はレーザー電子光(Laser Electron Photon (LEP))

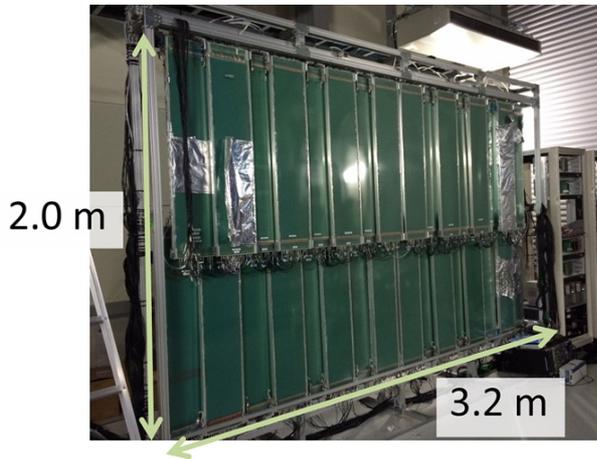


図3 Resistive Plate Chamber (RPC) 検出器

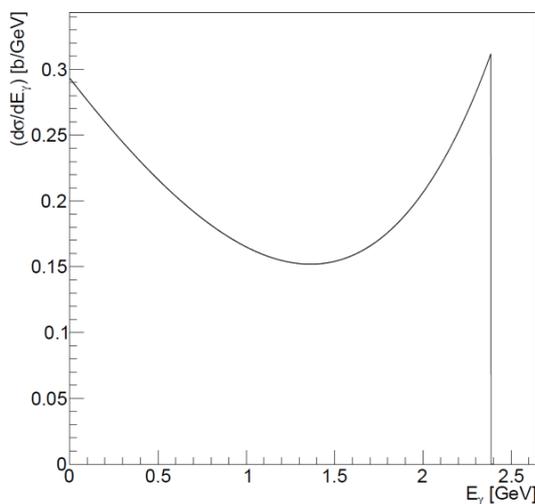


図4 波長355 nmのレーザーを用いた場合のレーザー電子光のエネルギー分布

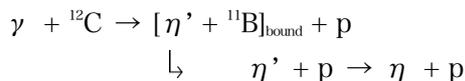
と呼ばれ、ビームライン名となっている。波長355 nm (3.49 eV) の紫外線レーザーを用いた場合のガンマ線のエネルギー分布を図4に示す。ガンマ線のエネルギーはイベント毎に異なるため、逆コンプトン散乱後の反跳電子のエネルギーを測定することで、イベント毎にガンマ線のエネルギーを求めている。逆コンプトン散乱でエネルギーを失った反跳電子は、偏向電磁石において、8 GeV電子軌道よりも内側に曲げられる。この反跳電子の飛跡を、偏向磁石下流のビームチェンバー外に設置したタギング検出器と呼ばれる検出器で測定することにより、反跳電子のエネルギーを求める。ガンマ線のエネルギーが低い(反跳電子のエネルギーが大きい)場合は、チェンバー外まで電子が曲がらないため、測定できるガンマ線のエネルギー領域が限られる。BL31LEPでは1.3 GeV以上の光子ビームエネルギーの場合にエネルギー測定が可能である。このように逆コンプトン散乱が起きた電子は蓄積リングの軌道から外れるため、前身のLEPS実験開始当初はレーザー入射を開始すると、ビーム寿命の変化が見られた。2004年5月以降は蓄積リングに常に電子を入射し続けるトップアップ運転が行われているため、他実験への影響はない^[8,9]。

3. η'中間子-原子核束縛状態探索

陽子は938 MeV/c²の質量を持つ一方、陽子の構成要素とされるクォークの質量は3つ合わせて10 MeV/c²程度と、陽子の質量のわずか1%程度である。残りの質量の大部分は強い相互作用のメカニズムによって形成されるとされているが、実験でそのメカニズムを測定することは難しく、陽子を始めたとしたハドロンの質量生成起源についてはまだ十分に理解が進んでいない。BGOegg研究グループでは、質量生成機構を実験的に検証できるハドロンとして、η'中間子(958 MeV/c²)に着目した。質量生成機構の一部は密度依存性を持つとされ、η'中間子は高密度中で大きく質量が減少するとされる中間子である。原子核内部は2.5 × 10¹⁴ g/cm³と高密度であり、理論モデル計算により、η'中間子は原子核内で37-150 MeV/c²の大きな質量の減少が予想されている。原子核内で大きな質量の減少があると、η'中間子は原子核内にいる方が真空中よりも安定するため、η'中間子と原子核は束縛状

態を形成する。この束縛状態のポテンシャルが、 η' 中間子の原子核内での質量減少に相当すると考えられる。BGOegg 実験グループでは、前述のガンマ線ビームを用い、 $\gamma + {}^{12}\text{C} \rightarrow [\eta' + {}^{11}\text{B}]_{\text{bound}} + \text{p}$ 反応により、 η' 中間子- ${}^{11}\text{B}$ 原子核束縛状態の探索、およびポテンシャルの大きさの評価を行った。実験データは 2015 年に取得し、2020 年に論文発表を行ったものである^[10]。

η' 中間子-原子核束縛状態は、 $\gamma + {}^{12}\text{C} \rightarrow \text{X} + \text{p}$ 反応の γ (ガンマ線) と p (陽子) のエネルギーを測定することにより X の質量を求めるミッシングマス法を用いて探索を行った。 η' 中間子の生成閾値付近では、多重 π 中間子生成によるバックグラウンドが多く、 γ と p のみの測定では η' 中間子生成イベントを同定するのが難しい。バックグラウンドを抑制するため、 η' 中間子が原子核内で陽子に吸収されることにより η 中間子を放出する、 $\eta' \text{p} \rightarrow \eta \text{p}$ 反応で放出される η 中間子-陽子対の同時測定を世界で初めて行った。すなわち探索したのは以下の反応である。



ガンマ線のエネルギーをタギング検出器で、 $(\eta + \text{p})$ 対を BGOegg 検出器で、前方へ飛行する p を RPC 検出器で測定した。

図5に黒点で $(\eta + \text{p})$ 対を同時測定した際のミッシングマスと η 中間子の放出角度の分布を示す。横軸のミッシングマス ($E_{\text{ex}} - E_0$) は 0 MeV を η' 中間子の生成閾値としており、 η' 中間子-原子核の束縛状態は、-50~50 MeV あたりに観測される。 η 中間子の放出角度が前方 ($\cos(\eta) \sim 1$) のイベントを中心に、大量のバックグラウンドイベントが観測された。このバックグラウンドイベントについて詳細な解析を行い、 $(\eta + \text{p})$ 対の同時測定により、多重 π 中間子生成からのバックグラウンドイベントは大きく抑制できているものの、 $\gamma + {}^{12}\text{C} \rightarrow \text{p} + \eta + {}^{11}\text{B}$ 反応や、 $\gamma + {}^{12}\text{C} \rightarrow \text{p} + (\eta + \pi^0) + {}^{11}\text{B}$ 反応といった、初期反応により η 中間子が前方に放出されるバックグラウンドイベントが残っていることが分かった。

η' 中間子-原子核束縛状態から放出される $(\eta + \text{p})$ 対は束縛状態からの二次反応で生成されるため、 η 中間子と p が反対方向に等方的に放出されるという特徴を持つ。そこで η' 中間子-原子核束縛状態の信号を

残し、バックグラウンドイベントを落とすように、次のような $(\eta + \text{p})$ 対の運動学的条件を決定した。(1) η 中間子と p が反対方向に放出 ($\cos(\eta - \text{p}) < -0.9$)、(2) 他に観測されていない生成粒子がない、(3) p は前方に放出されていない ($\cos(\text{p}) < 0.5$)、(4) η 中間子は後方に放出 ($\cos(\eta) < 0$)。 (1) ~ (3) を満たすイベントを図5に青点で示す。(4) を満たす信号領域 (赤色) にイベントは観測されず、本実験では η' 中間子-原子核束縛状態と考えられるイベントは観測されなかった。この結果から、 $(\eta + \text{p})$ 対の放出を伴う η' 中間子-原子核束縛状態の生成断面積の上限は、90%の信頼水準で 2.2 nb/sr との制限を与えた。

また、前方陽子を伴う η' 中間子の生成率の評価のために、 η' 中間子が原子核に束縛されずに放出される $\gamma + {}^{12}\text{C} \rightarrow \eta' + \text{X} + \text{p}$ 反応のミッシングマス測定も世界で初めて行った。測定した生成率を用いて規格化した η' 中間子-原子核束縛状態生成の理論予想断面積と、実験で得られた $(\eta + \text{p})$ 対を伴う η' 中間子-原子核束縛状態の生成断面積上限値の比較を行った。その結果、 $\eta' \text{p} \rightarrow \eta \text{p}$ 吸収反応の分岐率が小さいか、 η' 中間子-原子核束縛状態のポテンシャルが浅いことを示唆した。

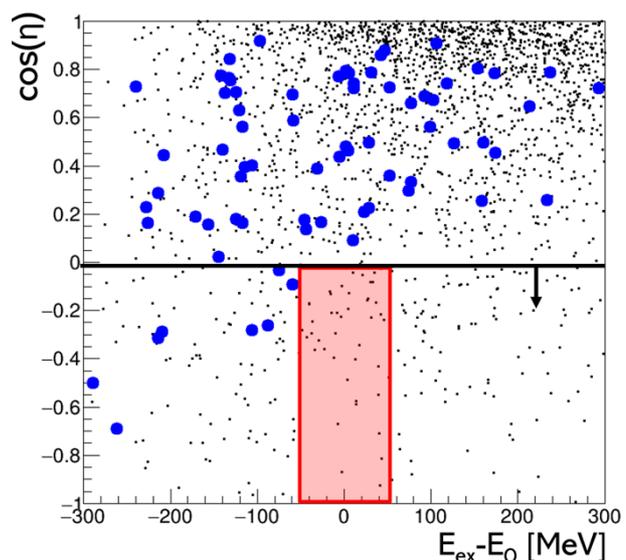


図5 $\gamma + {}^{12}\text{C} \rightarrow \text{X} + \text{p}$ 反応のミッシングマス ($E_{\text{ex}} - E_0 = 0$ MeV を η' 中間子の生成閾値とする) および η 中間子の角度分布。 $(\eta + \text{p})$ 対にバックグラウンドを抑制する運動学的条件をかける前 (黒点) とかけた後 (青点)。赤が信号領域。

4. 今後の展望

BGOegg 実験グループでは、今後の第二期計画として、 $\eta' \rightarrow \gamma\gamma$ 崩壊反応のガンマ線を測定することで η' 中間子の原子核内での質量を直接測定する実験を計画している。また η' 中間子-原子核束縛状態については、 $\eta'p \rightarrow np$ 反応以外の有力な吸収反応の候補である、 $\eta'pp \rightarrow pp$ 反応モードの解析を行いたいと考えている。LEPS2 スペクトロメーター実験は2021年度より定常的なデータ取得を開始しており、ペンタクォークなどエキゾチックなハドロンの研究成果が期待される。

謝辞

本研究は LEPS2/BGOegg collaboration により行われた共同研究です。本研究は BL31LEP において課題番号 BL31LEP/6101 のもと行われました。安定なビーム供給にあたっていただいた JASRI スタッフの方々に感謝申し上げます。本研究は文部科学省科研費 新学術領域研究 JP21105003、JP24105711、JP18H05402、日本学術振興会科研費 特別推進研究 JP19002003、基盤研究(A)JP24244022、若手研究(A)JP16H06007、基盤研究(C)JP19K03833、特別研究員奨励費JP24608、韓国研究財団 2017R1A2B2011334、台湾科技部の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] T. Nakano *et al.*: *Phys. Rev. C* **79** (2009) 025210.
- [2] S. Y. Ryu *et al.*: *Phys. Rev. Lett.* **116** (2016) 232001.
- [3] T. Isihikawa *et al.*: *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. A* **837** (2016) 109-122.
- [4] S. Y. Ryu and the LEPS2 collaboration: *AIP Conf. Proc.* **2249** (2020) 030024.
- [5] N. Tomida *et al.*: *J. Instrum.* **9** (2014) C10008.
- [6] N. Tomida *et al.*: *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. A* **766** (2014) 283-287.
- [7] N. Tomida *et al.*: *J. Instrum.* **11** (2016) C11037.
- [8] 田中均、大熊春夫：SPRING-8/SACLA 利用者情報 **8** (2003) 298-304.
- [9] 田中均、木村洋昭：SPRING-8 News **17** (2004) 2-4.
- [10] N. Tomida *et al.*, (LEPS2/BGOegg collaboration): *Phys. Rev. Lett.* **124** (2020) 202501.

富田 夏希 TOMIDA Natsuki

大阪大学 核物理研究センター
〒567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘 10-1
TEL : 06-6879-8926
e-mail : natsuki@rcnp.osaka-u.ac.jp

2016 年度指定パートナーユーザー活動報告

強相関電子系分子性物質の赤外顕微イメージング分光による
電荷ダイナミクスの研究

東北大学 金属材料研究所

佐々木 孝彦

(1)

指定時PU 課題番号/ビームライン	2016A0073/BL43IR								
PU 氏名 (所属)	佐々木 孝彦 (東北大学)								
研究テーマ	強相関電子系分子性物質の赤外顕微イメージング分光による電荷ダイナミクスの研究								
高度化	赤外ビームラインの整備と先導的活用								
利用研究支援	当該装置を用いた利用実験の支援								
利用期	16A	16B	17A	17B	18A	18B	19A	19B	合計
PU 課題実施シフト数	33	29.75	35.5	36	35.5	35.125	35.375	35.75	276
支援課題数	0	0	3	3	1	1	1	3	12

(2) PU 活動概要

1) 目的

本パートナーユーザー (以下、PU) 課題では、強相関電子系分子性物質の電荷ダイナミクス研究における赤外物性ビームライン BL43IR での研究活動成果を基にして、【1】放射光赤外顕微偏光分光による微小試料、微小領域測定に対する実験安定性の向上と遠赤外光領域測定の安定化・高精度化、および、【2】磁気光学ステーションの優位性を生かす遠赤外光領域への拡張とステーションの安定利用・標準化および光強度増強に向けた光学系改修について、ビームライン担当者と共同して実施することを目的とした。あわせてこれらの高度化によるビームライン利用ユーザーの利便性向上と利用者支援および新規利用者開拓を目指した。

【1】および【2】による高度化、特に遠赤外光領域での微小領域分光技術の向上により、強相関電子系分子性物質に発現する拮抗した電子秩序相の境界領域で誘起される量子的な電荷・スピン自由度による非自明な量子状態-量子スピン液体・電荷液体、電荷ガラス状態などーに対して、低エネルギー赤外分光測定による電荷ダイナミクス研究の進展が期待できる。

分子性物質においては、電荷・スピンの自由度と分子格子自由度の結合により、多彩・多様に交差した複合自由度が誘起され、それらが空間・時間的な発展過程を伴って特徴的なパイ電子系の秩序化とその緩和過程 (ガラス化と融解) や空間分布 (短距離相関、クラスター化) が現れる。このような特徴的電子状態は、これまででない電子機能性を生み出す概念創出の場として、分子性物質に限らず、広く無機強相関電子系物質においても現在の物性物理研究の重要な研究分野・課題となっている。このため、低エネルギー遠赤外分光・磁場印加をキーワードとするビームライン高度化は、本PU 課題研究のみならず、広く強相関電子系研究全体に資するもので、ユーザーの拡大と利用実験の高度化につながると期待できる。また強相関電子系研究以外に対しても、現在のビームラインが有する基本性能の改善を通してユーザー利用実験 (微小試料、微小領域分析) におけるデータ精度向上に貢献できる。

2) 高度化への協力

本PU 課題で行ったビームライン高度化は、大別して以下の2項目である。

【1】放射光赤外顕微偏光分光による微小試料、微小領域測定に対する実験安定性の向上と遠赤外光領域測定の安定化・高精度化

BL43IR には、2 系統の分光器・赤外顕微鏡ステーションが設置され、それぞれが測定環境・条件（温度、圧力、エネルギー領域）、分解能の違いなどにより使い分けられている。放射光利用による赤外分光実験の利点は、放射光光源が有する高い指向性による高空間分解能であるが、実際には、より外因的な要素（挿入偏光子の偏心や厚みむら、アパーチャーの機械精度、駆動ステージの剛性不足、ポンプからの振動など）により空間分解能が変動・悪化する。このような外因的な要素については、限られた各ユーザーのビームタイム内において系統的に対処することが難しい。本高度化項目では、微小試料、微小領域に対する高い空間分解能を安定的に発揮できるように、周辺付属コンポーネントの安定性を系統的に向上させて実質的な分解能を向上させること、遠赤外光領域での実験実施における利便性を向上させることの2点を目的とした。本項目では、赤外顕微マッピング測定用のユーザーマニュアルの作成など、特定課題を対象としないステーション全体としての利便性向上についてもビームライン担当者と協力して行った。

a) 偏光子の光路挿入位置変更と回転機構の高剛性化

高空間分解能赤外分光ステーションに設置されている赤外顕微鏡に標準で付属している偏光子ユニットは、回転機構の機械精度が低く、偏光子の回転時に光学軸の「ぶれ」が生じてしまい実験データの再現性が悪い。また回転機構の角度精度も悪いため、偏光測

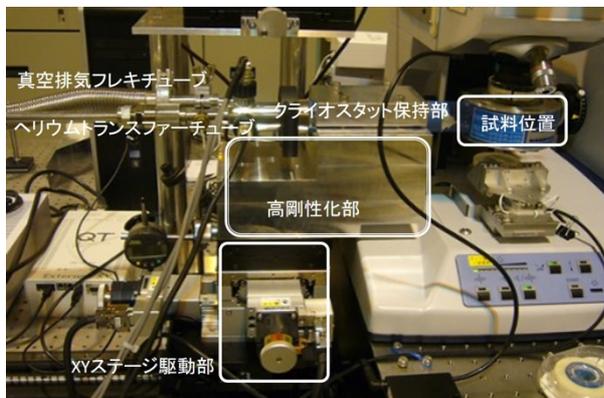


図1 赤外顕微ステーション高剛性化クライオスタット走査駆動機構

定時の測定精度に影響を及ぼしていた。さらに顕微鏡内光路中の偏光子挿入位置が放射光赤外光の使用時には適切ではないなどの問題があった。この問題を解決するために、顕微鏡とフーリエ変換型分光器の連結部分にアクリル製の回転機構を有する偏光子挿入部を作製・設置した。また、偏光子として剛性の高い金属枠に組み込まれている製品を使用できるようにした。この偏光子は赤外ビームラインの他の顕微鏡でも使用できるもので遠赤外また近赤外利用の時には共通した偏光子を使用できるなど装置汎用性・相互利用性を高めている。本改良により、偏光測定時においても再現性の高いデータを得られるようになった。

b) 試料・冷凍機走査駆動機構の高剛性化

ヘリウムフロー型光学クライオスタットを使用して赤外スペクトル測定を低温で行う場合には、微小試料上の顕微測定位置の調整や空間マッピング測定のために、クライオスタットを重量のあるトランスファーチューブや真空排気用のフレキチューブとともに顕微鏡下で微小移動させる必要がある。この微小移動機構（ステッピングモーター駆動によるXYステージ）をステップ動作させるとその振動が増幅されてクライオスタットに伝わり、位置精度が極端に悪化していた。この現象を改善するためにXYステージとクライオスタット保持部をつなぐ部材を高剛性化し振動を軽減した（図1）。また、真空ポンプとクライオスタットをつなぐ真空排気チューブの除震固定方法の改良などをあわせて行い、XYステージのステップ動作時に発生する振動を低減することで、試料位置精度を大幅に向上することができた。

c) 遠赤外光領域用クライオスタット光学窓の探索・供用

遠赤外光領域の真空光学窓としてはダイヤモンドやZnSe、ゲルマニウムなどがあるが、サイズ、価格、試料位置確認のための可視光域透明性を考慮すると、ポリプロピレンフィルムの使用が一般的である。ただし、フィルム厚さにより目的とするエネルギー領域に干渉によるスペクトルの振動が生じる他、フィルムの機械的な強度の弱さから真空によるたわみや劣化、真空破れなどの問題が生じる。厚さや用途の異なる市販のポリプロピレンフィルムを多数収集し、光学窓材と

しての光学特性、機械強度のテストを行い、有効な材料でのクライオスタット窓の作製とそのストックを行い、一般ユーザーへの供用を行った。

【2】 磁気光学ステーションの優位性を生かす遠赤外光領域への拡張とステーションの安定利用・標準化および光強度増強に向けた光学系改修

BL43IR では、先駆的な実験環境整備として 10 年以上前に無冷媒の高磁場超伝導マグネットが導入され、強磁場中での赤外分光を可能とする磁気光学ステーションが整備されていた。しかし、本ステーションは、世界的に見ても非常に強力な装置であるが、一般ユーザーのみによる利用準備や実験実施のハードルの高さ、遠赤外光領域が測定範囲外となっているなどの理由から長期間休眠状態であり、設備のポテンシャル、優位性を生かし切れていない状況であった。本 PU 課題では、磁気光学ステーションをよりユーザーフレンドリーなシステムとすること、また遠赤外光領域への測定範囲拡張により、一般ユーザーが、磁場発生・制御や低温環境での測定を安定的に行えるようなステーション運用の標準化に取り組んだ¹⁴⁾。

再立ち上げにおいて行った主な改善点は、1) 液体ヘリウム使用量の低減、2) 位置変動および振動の抑制、3) 光強度増強のための光学系改修および遠赤外光領域への拡張のための光学素子変更、4) 偏光方向および磁場方向の調整機能設置などである。

図 2 は磁気光学ステーションおよびその周辺の概略図である。赤い矢印は蓄積リングから検出器までの光路を示しており、黄色で示した箇所は本 PU 課題の

高度化として大きく変更あるいは新造した部分である。右側の黒い四角で囲んだ領域はステーションの外部を上方から見た配置図である。フーリエ変換赤外分光光度計 (FT-IR) からの出射光は 2 枚の金ミラーによってステーション内に導かれる。左側の黒い四角で囲んだ領域は、防磁シールドで囲まれたステーション内部を正面から水平方向に見た図である。光学台とクライオスタットは同じ床面に載っているが、マグネットはそれとは異なる床面に載っている。また、マグネットの足には防振部品が使用されている。以下、各改善点について紹介する。

1) 寒剤使用量の低減、ユーザーフレンドリーなクライオスタットへの新造交換

低温領域での実験効率を向上させるためには、実験に使用する低温寒剤 (液体ヘリウム) の量を減らすことが重要である。少量の寒剤で迅速に安定な低温環境が得られるように、クライオスタットを設計・新造した。これによって、液体ヘリウムの使用量は室温から 150 K 程度までは測定温度を保持するのに 0.5 L/h 程度以下 (液体換算)、30 K 程度までは 1 L/h 程度、10 K までは 1.5-2.0 L/h 程度、5 K では 3 L/h 程度となった。改善以前は、10 K 程度で 2.5 L/h 程度、4-5 K で 4 L/h 程度であったので、20-30%向上している。また、クライオスタット全体が完全に室温になっている状態から数十 K まで冷却し、温度と熱収縮が安定するには 6 時間程度必要であるが、一旦数十 K まで冷却すれば、1 時間程度で室温から 10 K 程度まで急速冷却が可能である。この速度に関してはヘリウム流量

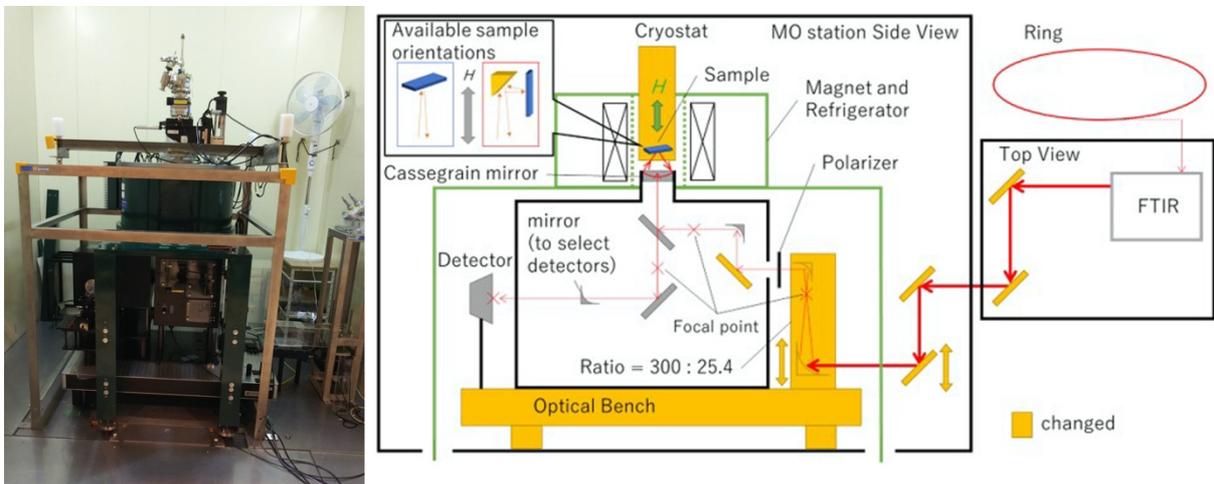


図 2 磁気光学ステーション (写真) と周辺部を含む構成概略図

に大きく依存するため、改造前の性能と直接比較することは困難であるが、温度保持に要するヘリウム消費量と同程度（20-30%）の効率向上はありと考えられる。ヘリウム消費量を大幅に減らせたことで効率的な実験実施が可能となった。

2) 位置変動および振動の抑制

安定的な顕微分光測定のためには、試料および集光顕微位置の変動や測定系の振動を可能な限り抑える必要がある。磁気光学ステーションにおける振動の主な発生源は、無冷媒超伝導マグネットの冷凍機である。50-100 μm 程度の微小領域での分光測定を想定していることから、10 μm 程度以上の振動があってはならない。改善前は磁気光学ステーション内の光学系を載せたベース台と床の間は、防振ゴムを使った柔軟な固定方法が取られており、床からの振動軽減の効果を重視していた。しかし、遠赤外光領域の拡張において設置が必要となる遠赤外光用 Si ボロメータ検出器は、重量が7 kg ほどあり、ボロメータの着脱によって防振ゴムが伸縮して光学系全体がわずかに傾き、試料上の光焦点位置がずれてしまう。これらを解決するため、既存の光学系全体を強固な非磁性の光学ステージの上に設置し、超伝導マグネットおよび冷凍機に接続する圧縮ガスのチューブなど、振動の発生源と、検出器やクライオスタットを含む光学測定系とを設置床面から分離した。これらの全面改良により、光学系の傾きなどによる位置変動に関しては通常の実験作業時には検出できない程度に抑制された。また、振動に関しては、無磁場状態では数 μm 以下、磁場印加時ではやや大きくなるが、10 μm 以内に抑えることができるようになった。

3) 光強度増強のため光学系の改修

指向性の高い放射光赤外光源であっても、光路中の光学素子の影響もあり、測定試料や信号検出器に至るまでの長距離（約 10 m）を進む間にビーム径は広がってしまう。特に、遠赤外光は中赤外光に比べてビーム径が広がっており、遠赤外光領域への拡張を行うには、できるだけ辺縁の光も集め、強度の向上を図ることが不可欠である。これらを念頭にして良好なビーム形状を保つために、光路と光学部品の大幅な変更を行

った。本高度化改修の効果として、磁気光学ステーションの光強度は、改修以前の休止状態時に比べて約5-10 倍となり、既存の顕微赤外ステーション測定系の25-50%程度まで増強することができた。この結果、通常の顕微反射測定を行う場合と比べても、遜色ない強度と S/N 比が磁気光学測定で得られるようになった（図3）。また、改修以前はほぼ1日かかっていた光学系の調整時間を、約1-2時間程度と大幅に短縮することに成功した。さらに、3-4日程度のビームタイム内では有意な光強度・信号強度の変動は見られないほど安定した光学系となった。

4) 偏光および磁場方向の調整機能の設置

新造したクライオスタットを光学系・超伝導磁石システムに設置した後、鉛直方向を軸とした角度回転ができるような回転機構を追加した。また、マグネットに接触しない範囲でクライオスタットを鉛直方向から微小に傾けることで、あおり角度も調整可能とした。これらによって、放射光自身の強い偏光特性に対して

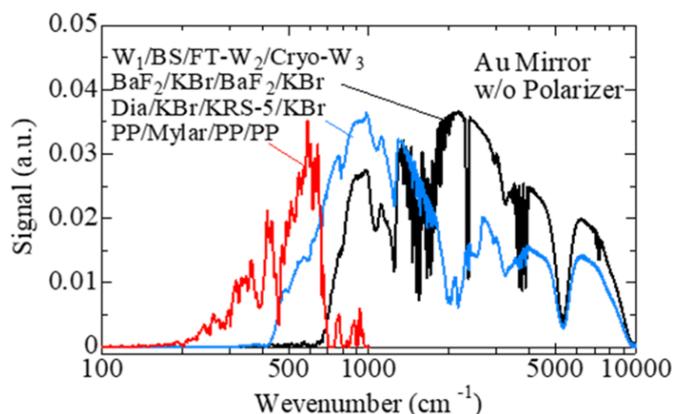


図3 光学系改修後の磁気光学ステーションにおける赤外分光範囲。金ミラーの反射強度スペクトル（クライオスタット内）の測定結果を示す。各スペクトル（赤、青、黒）に測定セッティング条件を示している（ W_1 （赤外光取出口窓材）/BS（FT-IR ビームスプリッタ材質）/FT- W_2 （FT-IR 出口窓材）/Cryo- W_3 （クライオスタット窓材）：それぞれの材質は、 BaF_2 （フッ化バリウム）、KBr（臭化カリウム）、KRS-5（臭ヨウ化タリウム）、Dia（ダイヤモンド）、PP（ポリプロピレン）、Mylar（マイラーフィルム））。青、黒スペクトルはMCT検出器、赤スペクトルは遠赤外光領域用Siボロメータ検出器を使用。本高度化により遠赤外光領域（赤スペクトル）の測定が可能となった。

試料の軸を回転調整することが可能となり、偏光方向依存性が大きな試料の場合は、特に信号強度の改善が可能となった。

通常は試料反射面が印加磁場に垂直となる配置（ファラデー配置）で反射率測定を行うが、試料直近に45度微小金ミラーを配置し光路を曲げることで、試料反射面が磁場と平行となる測定（フォークト配置）が可能となり（図2参照）、反射率測定における磁場、電場の全てのテンソル成分を得ることが可能となった。

以上のような磁気光学ステーションの再整備・拡張の完了と利用マニュアルの作成により、赤外分光実験の経験がある一般ユーザーであれば、初回の説明・準備支援により常時継続的な支援がなくても強磁場中遠赤外—中赤外分光実験の実施が可能となった。

3) PU 研究成果

本PU課題における高度化に関連した利用実験の成果として、高空間分解能顕微ステーションを利用した、強相関電子系分子性物質における特徴的電荷自由度の発現による、a) 「電荷ガラス」状態の発見・解明、b) ダイマーモット／電荷秩序の量子臨界現象の検証、c) π - d 相互作用を伴う電子ドーピングされた電荷秩序状態などについての成果があった。いずれも放射光赤外顕微分光測定の特徴が生かされた成果である。

a) 強相関電子系分子性物質での「電荷ガラス」状態の発見・解明

物質の三態として、原子、分子の集積形態の違いによる気体—液体—固体間の相転移は、原子、分子間の結合の強さ（相互作用）と温度（エネルギー）との関係で起こっている。このうち固体状態に分類されるガラス状態は、液体からの急冷により非平衡条件下で実現する。電子系における物質の三態に対応する状態は、電子が遍歴的に自由に動く金属（自由電子）状態 [気体] —電子が相関（クーロン相互作用）をもって集団的に機能する状態 [液体] —電子が局在絶縁体化した状態（電荷秩序／モット絶縁体状態） [固体] である。物質構造状態としてのガラスに対応する電子系の状態に関しては、これまでスピンに対するスピングラスの研究は進んでいるが電荷に関する研究は、ほとんど行われていない。

本PU課題では、電荷秩序絶縁体状態を示す分子性物質 θ_m -(BEDT-TTF) $_2$ TlZn(SCN) $_4$ において、急冷条件下での電荷の「ガラス状態」を発見し、その機構について赤外分光による電荷分布の決定などから明らかにした。ここで BEDT-TTF とは、図4上部に示す分子構造を持つ平板状分子で、bis(ethylenedithio)-tetrathiafulvalen(C $_{10}$ S $_8$ H $_8$)の略称である。本電荷ガラス状態発見の結果、原子／分子による構造ガラスと物質中電荷による電荷ガラスでは、ガラス形成に関するマクロな特性が非常に似通っていることなどが明らかになった。このことは、相互作用の種類やエネルギーの違いによらず、ガラス状態を特徴付ける時間スケールやガラス状態への変態については類似性があることが分かった。この発見は、今後のガラス研究一般において、電子系での電荷ガラス状態研究が構造ガラス研究を補完する研究対象となり得ることを示した成果である。

本電荷ガラス研究においては、対象物質が微小単結晶であり小さな顕微面積での安定した赤外分光測定を必要とすること、選択された分子振動モードの観測によりミクロな分子上電荷の情報（電荷量、分布）を得られること（図4）、などから BL43IR での赤外分光実験は、電荷ガラス状態検証において欠くことのできない実験手法であった^[1,3]。

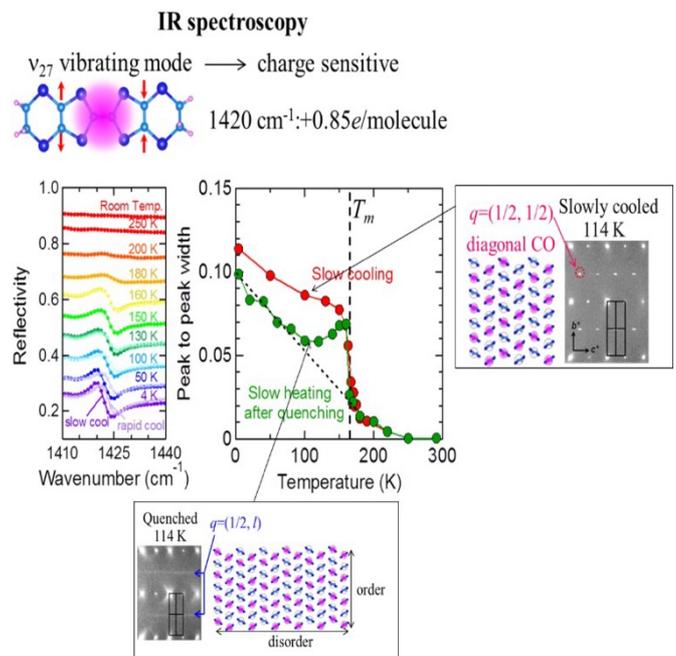


図4 赤外分子振動分光測定による電荷秩序・電荷ガラス状態でのミクロな分子上電荷量情報の実験検証^[1,3]

b) 強相関電子系分子性物質でのダイマーモット／電荷秩序の量子臨界現象の検証

2 サイト当たり 1 個のキャリア（電子、ホール）が存在する 1/4 充填バンド強相関電子系物質は、電子相関が弱い場合は金属となるが、強い場合は低温基底状態として、2 サイトのダイマー化の強さによりダイマーモット絶縁体（ダイマー化大）、または電荷秩序絶縁体（ダイマー化小）となる。この 2 状態がダイマー化の程度をパラメーターとして拮抗する条件では、ダイマーモット状態と電荷秩序状態に挟まれた大きな電荷ゆらぎを伴った量子臨界状態の発現が期待されている。

本PU課題では、分子性物質(BPDT-TTF)_nX のアニオン X 分子を置換することでダイマー化の程度を変えた一連の物質群を準備し、それらの系統的な赤外スペクトル測定を行った。ここで、BPDT-TTF(bis(propylenedithio)-tetrathiafulvalene)分子は、前述した BEDT-TTF 分子の末端エチレン基を、プロピレン基に置換した分子である。X 分子を置換した物質群の電荷励起状態を、ダイマー化の強さに対してマッピングすることで量子臨界性に関する知見を得た。ダイマーモット／電荷秩序相内の典型的な 2 つの物質に関して、それぞれの電子状態と赤外スペクトルの相関について調査し、アニオン X で構成される物質を含む量子臨界に至る相図を構築した^[2]。

本研究における臨界領域で期待される大きな電荷

ゆらぎが反映される低エネルギー域（遠赤外光領域）での微小領域分光は、実験室光源に対して放射光光源が絶対的な優位性を有している。

c) 強相関電子系分子性物質での π - d 相互作用を伴う電子ドーピングされた電荷秩序状態

磁性元素である Co（コバルト）をアニオン層に含む分子性導体は、遍歴パイ電子と磁性 d 電子の相互作用により伝導-磁性が相関した磁気応答を示す。この物質の低エネルギーパイ電子状態の磁場応答を明らかにすることを目標として、磁気光学ステーションによる磁場中赤外反射測定を含めて赤外顕微測定を行った。本物質は、PU らにより新たに合成・発見されたものであるため、その基本性質の調査を行ったところ、有機錯体物質では非常に珍しい電子ドーピング型の電荷秩序状態を形成していることが分かった。わずかに 1/4 充填からずれていることで、特徴的な電荷分布を有した安定性が低い電荷秩序絶縁体状態となり、 π - d 相互作用により d 電子スピンの外部磁場により反応し、それがパイ電子電荷状態に作用することを明らかにした。本研究の電荷状態解明では、平板上単結晶側面における微小領域赤外偏光分光測定による電荷状態に敏感な分子振動モードの観測が重要であり、 μm スケールでの安定な顕微測定により初めて可能となった(図5)^[7]。

面間偏光測定 ($E \parallel a^*$)

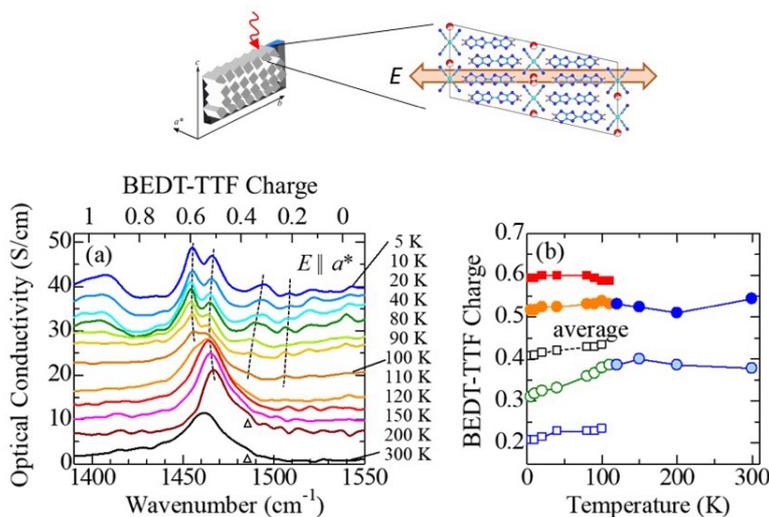


図5 平板状微小単結晶側面における赤外分子振動分光測定により明らかになった電子ドーピング状態での電荷秩序絶縁体状態^[7]。光学伝導度スペクトルのピーク構造は、分子振動 (ν_{27} モード) によるものである。この振動は分子上の電荷量により波数シフトし、その位置から電荷量を知ることができる。左図は分子振動ピーク波数の温度依存性から決めた分子上電荷量。120 K 以下で 2 つから 4 つの異なる電荷量に分かれた特徴的な電荷秩序状態になっていることが分かる。

4) ユーザー支援活動

高度化項目【1】に関しては、特定ユーザー、特定課題を対象とした支援ではなく、ビームライン利用者の利便性向上として広く貢献したものである。その中でPUとして、利用者支援および共同研究として成果があった2つの研究課題内容を簡単に紹介する。

- ・ペロブスカイト酸化物薄膜 $\text{BaSn}_{1-x}\text{Pb}_x\text{O}_3$ のバンド反転・交差による金属絶縁体転移を光学スペクトル変化として観測 (図6: 東北大学金属材料研究所 塚崎グループ)^[5]。
- ・新規の金属有機構造体 (MOF) 超伝導の発見とその特徴解明。超伝導状態での侵入長導出において、光学スペクトル測定によるプラズマ周波数 (有効質量、キャリア数) の評価が解明のカギとなった (図7: 東京大学大学院新領域創成科学研究科 芝内・橋本グループ)^[6]。

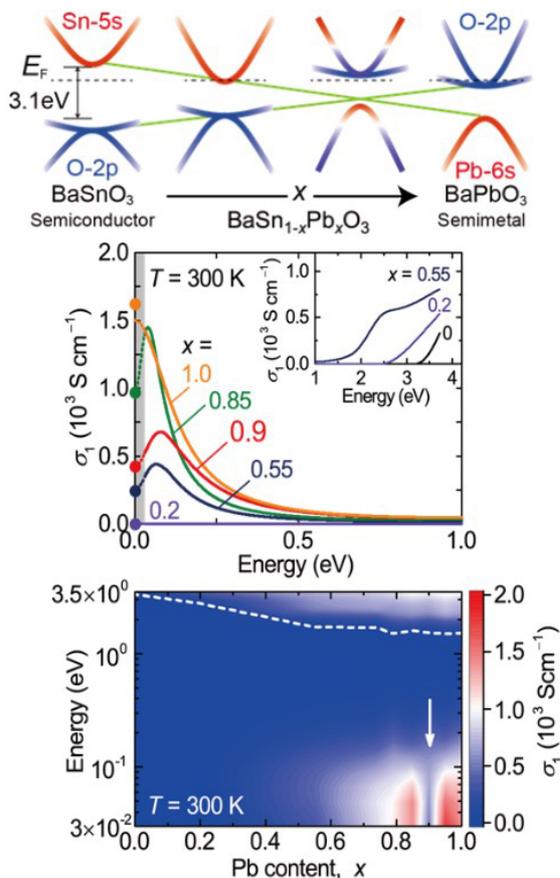


図6 $\text{BaSn}_{1-x}\text{Pb}_x\text{O}_3$ のバンド反転・交差の概念図と交差点における金属絶縁体転移を反映した光学スペクトル変化^[5]

いずれの課題においても、遠赤外光領域スペクトル測定を、試料上の特定した微小領域において顕微反射測定が行えたことが成果創出に結び付いた。実験室光源に対する放射光赤外光の優位性を示すことができた支援課題である。

高度化項目【2】に関しては、徳島大学 岡村グループによる、黒リンの強磁場下における赤外分光と電子状態の研究、東京大学 有馬グループによる極性磁性体 GaV_4Se_8 の赤外反射分光の研究、筑波大学 藤岡グループによる磁性ディラック半金属 EuMnBi_2 における反強磁性転移と電荷ダイナミクスの研究 (H. Nishiyama *et al.*: *Phys. Rev. B* **104** (2021) 115111) などが実施されており、論文発表成果も得られつつある。

また、赤外物性ビームラインの新規ユーザー開拓、磁気光学ステーションの利用促進のために各期利用課題の申請時期には、利用申請が期待できる研究者・グループをリストアップし、メールもしくは対面で、磁気光学ステーションの説明、SPRING-8 課題申請の案内についての連絡を行った。また、いくつかの研究会において、整備した磁気光学ステーションの性能紹介や利用案内も含むPU 活動内容、研究成果の紹介を行った。

5) まとめ

本PU 課題の実施においては、BL43IR のビームライン全体としてのアクティビティーの向上 (量的貢献) と研究成果内容の高度化 (質的貢献) の2点を目指した。質的貢献においては、インパクトの高い学術誌への掲載となる成果が利用研究や支援研究から得られた。一方で、量的貢献に関しては、高度化終了後に実施している一般利用課題はまだ多くないため、十分とは言えない状況にある。また、磁気光学ステーション

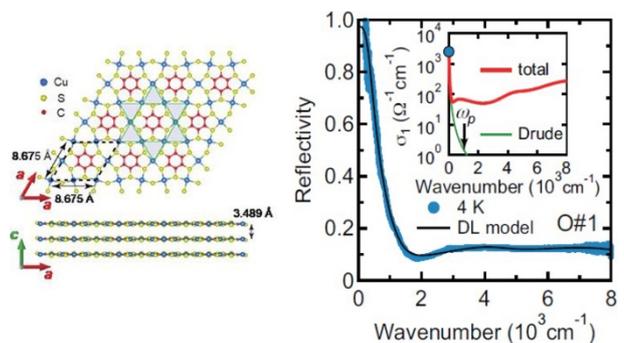


図7 金属有機構造体 Cu-BHT の結晶構造とドローテ型の金属的光学応答を示す光学伝導度スペクトル (4K)^[6]

- 磁場中遠赤外-赤外顕微分光
- 赤外光回折限界サイズの空間イメージング
- 磁気円二色性測定

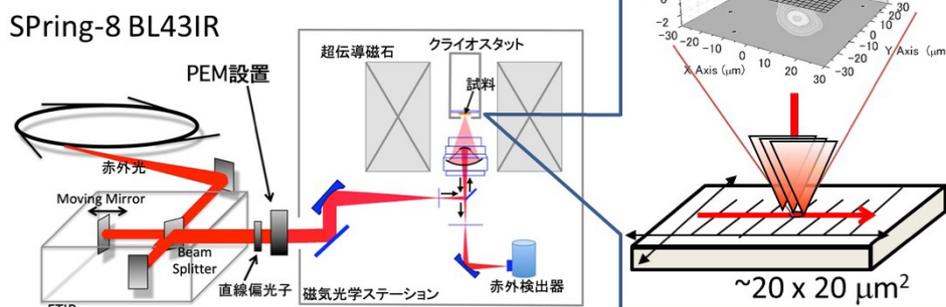


図8 放射光赤外磁気円二色性分光への拡張

が実稼働できるようになった時期にコロナ禍の影響が重なり 2020 年初頭以降の活動が、利用者開拓を含めて十分ではないという課題を残している。

磁気光学ステーションの遠赤外・強磁場・低温・微小領域顕微測定というユニークな装置優位性は、世界的に見ても十分に高いため、今後、ユーザー、研究テーマ、対象物質とのマッチングをビームライン担当者とともコーディネートして利用拡大を図っていききたい。また、本 PU 課題終了後の展開として、強磁場磁気光学ステーションの優位性を生かして、磁気円二色性分光が可能となる測定系の拡張 (図 8) をビームライン担当者と共同して開始している。さらなる高度化によりビームラインのポテンシャル向上を目指したい。

(3) 成果リスト (査読付き論文)

SPring-8 利用研究成果登録データベースに登録済みで、PU 課題番号が関連付けられた査読付き論文のみを掲載します (その他、PU として支援した一般課題の発表論文やポスター発表、受賞歴など多数の成果がありますが、掲載スペースの都合上割愛しています)。

[1] SPring-8 publication ID = 33081
S. Sasaki: “Charge Vitrification and Crystallization Dynamics in an Organic Conductor with Geometric Charge Frustration” *Doctoral Thesis* (Tohoku University) (2017).

[2] SPring-8 publication ID = 34470
R. Kobayashi *et al.*: “Dimer-Mott and Charge-Ordered Insulating States in the Quasi-One-Dimensional Organic Conductors δ'_p and δ'_c -(BPDT-TTF) $_2$ ICl $_2$ ” *Physical Review B* **96** (2017) 115112.

[3] SPring-8 publication ID = 34656
S. Sasaki *et al.*: “Crystallization and Vitrification of Electrons in a Glass-Forming Charge Liquid” *Science* **357** (2017) 1381-1385.

[4] SPring-8 Publication ID = 39353
S. Iguchi *et al.*: “Improvement of Magneto Optical Station in BL43IR” SPring-8/SACLA 利用研究成果集 (*SPring-8/SACLA Research Report*) **8** (2020) 88-92.

[5] SPring-8 Publication ID = 39665
J. Shioyai *et al.*: “Signature of Band Inversion in the Perovskite Thin-Film Alloys BaSn $_{1-x}$ Pb $_x$ O $_3$ ” *Physical Review B* **101** (2020) 125125.

[6] SPring-8 Publication ID = 41417
T. Takenaka *et al.*: “Strongly Correlated Superconductivity in a Copper-Based Metal-Organic Framework with a Perfect Kagome Lattice” *Science Advances* **7** (2021) eabf3996.

[7] SPring-8 Publication ID = 41868
S. Iguchi *et al.*: “Charge Ordering and π - d Interaction in Electron Doped 3/4-Filling Molecular System α' -(BEDT-TTF) $_2$ Rb $_{2x}$ Co(SCN) $_4$ ($x = 0.6$)” *Journal of the Physical Society of Japan* **90** (2021) 074701.

佐々木 孝彦 SASAKI Takahiko

東北大学 金属材料研究所
〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平 2-1-1
TEL : 022-215-2025
e-mail : takahiko.sasaki.d3@tohoku.ac.jp

長期利用課題報告 1

メガバール超高压物質科学の展開

大阪大学 基礎工学研究科附属極限科学センター
超高压研究部門 清水 克哉

Abstract

本研究は、メガバール (=1 Mbar は、 10^6 気圧 = 100 万気圧) を超える圧力領域の物質科学を新展開させると同時に、これまで為し得なかった物質創造に挑戦する、科学研究費補助金 (特別推進研究) 「超高压力下の新物質科学: メガバールケミストリーの開拓」 (H26~30) の研究推進に不可欠な超高压力下の構造科学の推進を目的としている。これは、実験責任者がこれまで発展させてきた高压力下の物質研究を強化して、超高压の世界に隠されている新奇物性を解き明かし、新現象や新物質を創成し、革新的な材料開発につながる新しい固体物理の構築につなげることを目指したものである。

1. はじめに

メガバールを超える高压力の領域では、単純に原子間距離を縮めて結晶構造が変化するというだけの変化に留まらず、それ以下の圧力では考えられなかった変化を生み出すことが、これまでの研究からも考えられるようになってきた。メガバールの超高压力によっていわば「化学」操作を行うことで、物質科学および材料開発における新たな知見を創成する可能性を持つと考え、課題名のように「メガバールケミストリー」と呼ぶことにした。圧力下において非金属体が金属化する圧力誘起金属化や、非超伝導体が超伝導化するなどの効果を明らかにしてきた。しかし、メガバール領域では典型的な金属と考えられるリチウムが絶縁体化する (T. Matsuoka and K. Shimizu: *Nature* **458** (2009) 186) などの発見に至り、メガバールの超高压力は、もはや単純に原子間距離を縮めるだけの効果ではなく、電子軌道を変化させ、原子のネットワークを組み替え操作する「超高压化学」すなわち、メガバールケミストリーの領域に入ろうとしていると着眼して本研究課題を立案した。

本長期利用課題の期間において、研究対象は3項目「金属水素」、「超高压発生」、「高温超伝導」とした。これらは超高压力下という条件であっても、物質の存在形態に対する普遍性や可能性の追求であり、基礎科学、惑星宇宙学、科学技術、物質科学に対して明瞭な結果を与え得ると考えている。

項目1「金属水素」は、室温超伝導体と期待される固体金属水素の探索に加えて、関連する軽元素の超高压相およびそれらの化合物の超高压相を追求。項目2「超高压発生」は、新規形状のダイヤモンドアンビルを設計・作成して「金属水素」の探索を現実化させる。項目3「高温超伝導」は、硫化水素とその周辺物質において超伝導を探索し、結晶構造と超伝導性を明らかにする。

2. 主な研究成果

研究対象とした項目ごとに実施経過とその結果を示す。

○項目1「金属水素」

固体水素の加圧実験環境の確立を目指し、超高压力の発生技術は格段に進歩し、固体金属水素への挑戦に必要な開発要素はほぼ達したといえる。残念ながら、研究期間において水素を十分に加圧することはできなかったが、かつての2014B期からの長期利用課題において達成した流体水素の金属状態の生成手法である、ダイヤモンドアンビル中に封入した水素へのレーザー加熱法は、後に述べる項目3の「高温超伝導」に積極的に応用し、170万気圧までの広い圧力領域で活用できる水素化技術としてほぼ確立できた。ダイヤモンドアンビル内に電極を導入することで、より直接的に水素の伝導度を測定する試みも実施した。これは、項目2の「超高压発生」に詳しく記述する。

○項目2「超高压発生」

ダイヤモンドアンビルの先端をトロイダル型形状に設計して作成して、達成圧力限界の拡張を引き続き目指した。先端部分の圧力だけでなく、先端周辺の圧力分布の解析、X線透過率測定によってダイヤモンド先端形状の変形挙動を詳細に分析するなどして、超高压発生に最適な形状を探索した。その結果、これまでの形状では発生が困難であった400万気圧を超える発生に成功した。トロイダル型は、同様に400万気圧の発生が可能とされる2段階アンビル法と比べて電極の挿入が比較的容易と思われる。水素の封入には未だ困難があり、水素への応用には至らなかった。トロイダル形状アンビルへの電極挿入の試験として、元素の中で超伝導転移温度が最も高いカルシウム(29 K)の超伝導検出に応用し、200万気圧以上でその超伝導を検出することに成功した。トロイダル形状のアンビルを用いた世界初の超伝導検出により、固体水素の加圧のための重要な実験要素を確立したといえる。

○項目3「高温超伝導」

2015年にEremetsらが発見した、硫化水素(H_2S)^[1]を出発物質とした200 Kの超伝導の再現実験と結晶構造解析を、2018B期の長期利用課題で世界に先駆けて明らかにした^[2]。より高い転移温度を持つ水素化物の探査には、(1) H_2S から高温超伝導相 H_3S へ構造変化する過程などの、超伝導物質生成過程の計測(放射光X線回折と電気抵抗との同時測定)、(2) ドーピングや元素置換、(3) 出発物質の選択を含めた他の合成手法の探索、(4) 他の元素の水素化物の合成などが必要であり、これらを実施した。

以下に(1)～(4)の結果を示す。

(1) H_2S は低温での加圧により長周期構造を失い、その後再秩序化して H_3S となっていることが実験的に明らかとなった。第一原理計算を用いた硫黄-水素系の安定構造を調査し、50-70 Kの超伝導となる H_5S_2 が変化過程で出現することを予測した。これは実験結果を非常によく再現した。

(2) 硫化水素超伝導体の超伝導転移温度の上昇を目指して、リンの化学ドーピングを試みた。硫化水素をリン共存下で低温加圧し、電気抵抗測定と放射光X線回折実験を行った。その結果、他の理論グループが

提案している280 Kの超伝導は観測されなかったが、硫化水素がリン共存下でも単体の場合と同様に超伝導体となることを確認した。これを理論的に検証するために、スーパーセル法を用いてホールドープした H_3S の超伝導を調べたところ、超伝導転移温度に大きな変化は見られず、他の理論グループが予測した大幅なドーピング効果を否定した。

(3) 単体の硫黄(S)と水素(H_2)の混合物から H_3S を合成することに成功した^[3]。図1の内挿図に示すようにSを H_2 が封入される試料室をブリッジするように配置し、150 GPaまで加圧した後にレーザー加熱を行った。同時に計測した電気抵抗が大きく変化し、 H_3S の合成を強く示唆するX線回折ピークが現れた。この回折線から、直接合成された H_3S は、従来の H_2S を加圧して得られたものよりも結晶性が高いことがわかった。その後冷却して得られた超伝導転移もシャープであることがわかった。この合成手法は、理論提案された水素化物の合成において多くのグループによって利用され、さらに多くの超伝導水素化物の合成に導いたといえる。

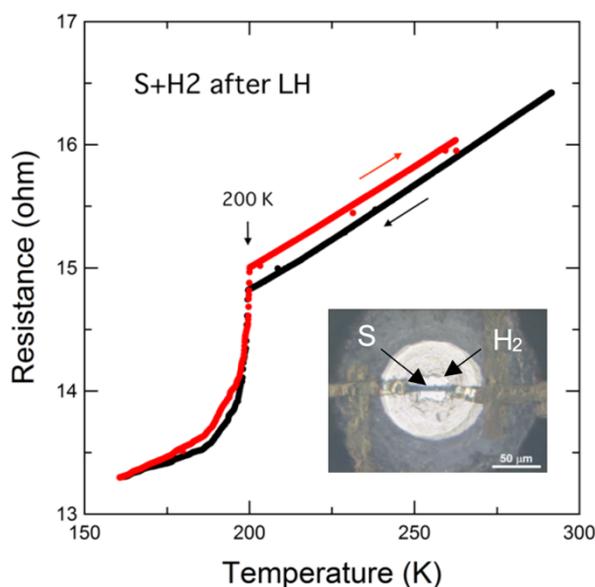


図1 硫黄と水素からの直接合成により合成された H_3S の超伝導転移。内挿図は加圧および加熱前の試料室の顕微鏡写真。Sは H_2 が封入される試料室をブリッジするように配置され、金電極に接触している。黒線と赤線はそれぞれ冷却と昇温過程の電気抵抗の温度変化を示す。これには金電極の電気抵抗の線形の温度変化を含んでおり、それを差し引くと200 Kに超伝導による電気抵抗の変化が観測される。

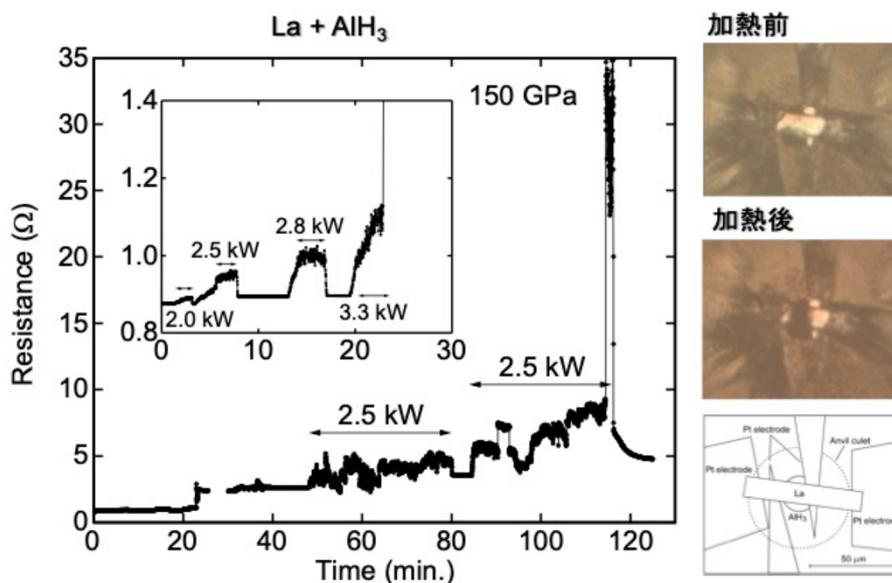


図2 ランタン水素化物の高温高压合成。レーザー加熱時の抵抗変化(左)、加熱前後の試料写真(右上)とその説明図(右下)。ランタン試料は水素発生源となる AlH_3 をブリッジするように置かれ、加熱にともない試料の電気抵抗は上昇を見せるが、2.8 kW までは試料の温度上昇によるものと思われる。レーザーの出力を上げていくと、3.3 kW での加熱中に電気抵抗が上昇し(内挿図)、その後 2.5 kW の加熱を数回続け、大きく上昇した後に加熱を停止した。その後は加熱部分の試料の色が黒く変わり、加熱合成がされたことを示唆している。

また、アルミニウム水素化物 (AlH_3) を水素発生源に用いて、ランタン水素化物の高温高压合成に成功した。図2に 150 GPa の压力下において、レーザー加熱を行った際の抵抗変化と、加熱前後の試料写真を示す。加熱時には試料抵抗は上昇を見せるが、これは温度上昇による抵抗上昇である。レーザーの出力を上げていくと、加熱前の抵抗値に戻らなくなり、これにより反応が起きたことが示唆される。加熱後の試料を冷却して超伝導性を調べたところ、純水素を用いた合成手法と比較して、低い超伝導転移温度が観測された。水素源から分解した Al が不純物として影響している可能性が示唆された⁴⁾。

(4) 白金水素化物 (PtH) の合成に成功した。これは水素供給源としてアンモニアボラン (NH_3BH_3) を用いている。単体水素を使うより簡便であり、多くの水素化物合成で利用されている。さらに、35 万気圧で約 12 K を観測し、マイスナー効果も確認できた。この超伝導体が六方晶の結晶構造を持つ PtH であることを、X線回折測定により明らかにした。遷移金属水素化物の超伝導転移は、パラジウム水素化物の超伝導転移以来、約 40 年ぶりの発見となった。

新規な金属水素化物 $\text{Li}_5\text{MoH}_{11}$ の圧力誘起超伝導を発見した⁵⁾。これは Mo を中心に 9 個の水素原子が配位する高水素化物といえる。水素の電子軌道に由来す

る価電子帯を持っており、固体金属水素で実現されるのと同様な超伝導性が期待されたものである。高压力下電気抵抗測定から、100 万気圧の高压力下で約 5 K において超伝導を発見した。転移温度は高くはないが、水素由来の超伝導の可能性として注目される(図3)。

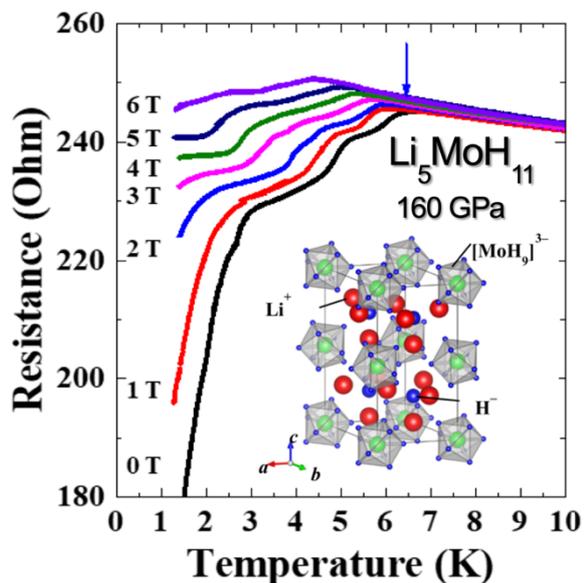


図3 金属水素化物 $\text{Li}_5\text{MoH}_{11}$ の 160 GPa における超伝導転移。外部磁場の印加によって転移が低温側にシフトしていくのがわかる。Mo を 9 個の水素原子が囲んで配位した $[\text{MoH}_9]^{3-}$ イオンが格子をなす高水素化物の超伝導である。

3. まとめ

以上をまとめると、100万気圧を超える超高压力状態（メガバール）の安定な生成とその極限状態での新たな物質科学の展開を行った。300万気圧以上の発生を達成し、同時に超高压で誘起される新物性の発見および新物質の合成法の開拓に寄与することができたといえる。特に、室温に迫る高い温度で超伝導を示す水素化物系の高温超伝導の探索研究が急加速した。超高压力を発生し利用する技術を拡張したことで、物質科学に多くの可能性を与えたといえる。究極の挑戦項目であった固体水素の金属化と室温超伝導の実現には到達しなかったが、水素化物においては室温超伝導体の実現がより現実的になったといえる。

水素は扱いにくい物質である。可燃性ガスであるなどの高い反応性の他に、高い圧縮率、接触する容器や加圧器のダイヤモンドを脆化させるなど、高压下の実験には高い技術が必要である。本研究を通じて、これらの現象を一つずつ克服した材料選択と封止技術の開発が同時になされた。高密度の水素の生成、水素を多く含む物質の合成を可能にしたことは、将来の高密度の物質科学の発展の基礎となり、ここに科学技術的価値があると考えられる。また、新物質の結晶構造の情報は不可欠であり、水素化物の高い超伝導転移の解明に留まらず、室温超伝導への超伝導体の開発指針を示すものである。

4. 今後の課題

本研究期間のうちに、目標に挙げた3項目のうち項目1の「金属水素」が未達成である。項目3の「高温超伝導」に注力した結果といえるが、これは特別推進研究の最終評価においても同様な観点から同様に評価がなされている。メガバールケミストリーの推進は、同時にメガバールテクノロジーの発展すなわち基盤技術をいかに構築するかにかかっている。以上の研究の実施経過をうけ、引き続き科学研究費補助金（基盤研究S）「水素化物の室温超伝導化とデバイス化の研究」（R2～6）が採択された。これにより、メガバールを用いた高温超伝導体の合成手法の開拓、さらに産業化への基盤技術として、デバイス化を目指した研究へと展開している。

謝辞

本研究は科学研究費補助金 特別推進研究（26000006）の助成を受け、SPring-8/BL10XUにおいて長期利用課題（2018A0149～2019B0149）により行ったものである。

参考文献

- [1] A. P. Drozdov, M. I. Erements, I. A. Troyan, V. Ksenofontov and S. I. Shylin: *Nature* **525** (2015) 73-76.
- [2] M. Einaga, M. Sakata, T. Ishikawa, K. Shimizu, M. I. Erements *et al.*: *Nature Physics* **12** (2016) 835-838.
- [3] H. Nakao, M. Einaga, M. Sakata, M. Kitagaki, K. Shimizu *et al.*: *J. Phys. Soc. Jpn.* **88** (2019) 123701.
- [4] M. Sakata, M. Einaga, M. Dezhong, T. Sato, S. Orimo *et al.*: *Superconductor Sci. and Technol.* **33** (2020) 114004.
- [5] D. Meng, M. Sakata, K. Shimizu, Y. Iijima, H. Saitoh *et al.*: *Phys. Rev. B* **99** (2019) 024508.

清水 克哉 *SHIMIZU Katsuya*

大阪大学 基礎工学研究科附属極限科学センター
超高压研究部門
〒560-8531 大阪府豊中市待兼山町 1-3
TEL : 06-6850-6675
e-mail : shimizu@stec.es.osaka-u.ac.jp

Long-term Proposal Report 2

Identifying Mechanisms to Improve Newborn Respiratory Function using Phase Contrast X-ray Imaging

Stuart B. Hooper^{1,2}, Kelly J. Crossley^{1,2}, Marcus J. Kitchen³

¹The Ritchie Centre, Hudson Institute of Medical Research, Melbourne, Australia

²Department of Obstetrics and Gynaecology, Monash University, Melbourne, Australia

³School of Physics and Astronomy, Monash University, Melbourne, Australia

Abstract

The clearance of airway liquid at birth represents a major challenge for newborn infants and must be accomplished within a few minutes of birth to allow the onset of pulmonary gas exchange. While the majority of infants perform this task with remarkable ease, up to 20% of infants require some sort of assistance to make this transition. Phase contrast X-ray imaging studies at SPring-8 have uncovered some of the mysteries behind this process, showing that liquid is cleared from the airways into lung tissue due to pressure gradients generated by inspiration or positive pressure inflations. While the newborn is well adapted to cope with the resulting lung oedema, its capacity to do so is limited. Thus, when airway liquid volumes are high at the onset of air breathing the infant can suffer respiratory distress after birth, which usually develops within 1-2 hours of birth and is 4 times more likely to occur in infants born by caesarean section at or near term. Subsequent studies at SPring-8 have now explained the pathophysiology associated with this form of respiratory distress and shown that it arises from the newborn having a larger than normal volume of liquid present within the airways at the onset of air-breathing. As a result, larger than normal volumes of liquid must be accommodated within lung tissue following lung aeration, which causes excessive pulmonary oedema; the larger the volume, the greater the oedema. This type of pathophysiology is very similar to the pulmonary pathophysiology suffered by patients with a severe COVID-19 infection. As such, improving our understanding of how newborns cope with moderate levels of pulmonary oedema and remove this liquid from lung tissue may improve our understanding of how to treat COVID-19 patients with severe respiratory distress.

Introduction

After birth, clearance of the liquid that resides in the airways during fetal life allows the entry of air into the lungs and the onset of pulmonary gas exchange. This in turn triggers a physiological sequence of events that underpins the transition from fetal to newborn life. While airway liquid clearance represents a major physiological challenge, the vast majority of newborn infants are able to overcome these challenges with remarkable ease. However, up to 20% of infants require some form of assistance at birth to aerate their lungs and commence air-breathing. To better help infants make this transition, we need to understand how this liquid is cleared from the lungs and how the uptake of liquid into lung tissue affects respiratory function in the newborn.

Phase contrast X-ray imaging at SPring-8 revealed how the lungs aerate at birth:

While it has been known for centuries that the fetal lung is filled with liquid during pregnancy, the mechanism for its clearance from the airways at birth remained a mystery until the early 1980s. Many had postulated that this liquid was “squeezed out” of the infant during labour and vaginal delivery, which is consistent with many reported observations of liquid “gushing” from the nose and mouth upon delivery of the infant’s head. However, as the head provides the greatest obstacle for delivery in humans, with the chest providing little to no resistance, this theory was largely dismissed as a mechanism for airway liquid clearance. Indeed, it doesn’t explain how airway liquid is cleared in infants delivered by

caesarean section as they are not exposed to labour or vaginal delivery. In the 1980's, researchers discovered that elevated adrenaline levels stimulated Na^+ reabsorption from the lung lumen, which reversed the osmotic gradient across the pulmonary epithelium^[1]. This led to the suggestion that the clearance of airway liquid from the lung lumen and into lung tissue during labour resulted from a stress induced activation of Na^+ reabsorption. However, Na^+ reabsorption-induced liquid reabsorption does not develop until late in gestation, is relatively slow and is reliant on the infant being “stressed” with elevated adrenaline levels^[1]. As such, it does not explain how infants born premature (ie before this mechanism develops) or those delivered by caesarean section without the stress of labour, clear their airways of liquid at birth^[2]. It also does not explain how newborns can easily commence pulmonary gas exchange within 30 secs to a minute of birth, as Na^+ reabsorption-induced liquid clearance rates are slow^[3,4]. Indeed, pharmacological doses of adrenaline can only stimulate airway liquid clearance rates at $\sim 10 \text{ mL/h/kg}$ and therefore it would take hours to clear the volume of liquid present in the infants' airways prior to birth ($30\text{--}40 \text{ mL/kg}$)^[2].

Discovery of the primary mechanism underpinning airway liquid clearance at birth only became evident when the process was imaged using phase contrast (PC) X-ray imaging at SPring-8 (BL20B2)^[3,4]. PC X-ray imaging uses the refractive index difference between air and water to produce contrast that is orders of magnitude greater than the contrast produced by X-ray absorption^[5]. As a result, the air/liquid boundaries become highly visible allowing the air-filled structures of the lung to be imaged with such high resolution, that for the first time in

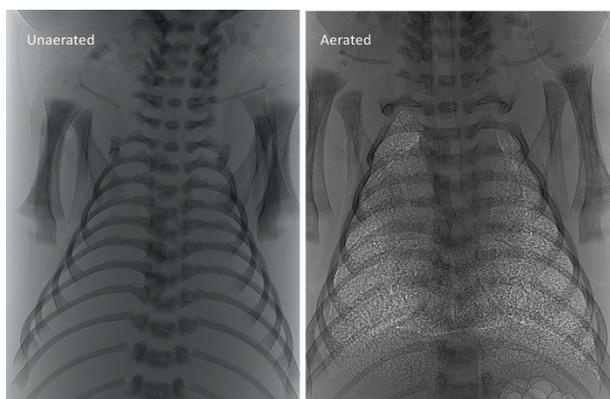


Figure 1 Phase contrast X-ray image of a newborn rabbit kitten before (left) and after (right) lung aeration.

history, the smallest air-filled structures of the lung (alveoli) could be imaged *in situ* in a living breathing animal (Fig. 1). The compilation of image sequences acquired during lung aeration into videos demonstrated that pressure gradients generated during inspiration was the primary mechanism driving airway liquid clearance at birth^[3,4]. While being imaged, newborn rabbits were placed in a plethysmograph to record the changes in lung gas volumes simultaneously with high spatial resolution imaging, providing incontrovertible evidence for the role of inspiration^[3,4]. Subsequent imaging experiments at SPring-8 confirmed that the pressures generated during inspiration were responsible for $> 95\%$ of airway liquid clearance and that positive pressure inflations of the lung, which artificially replicate these pressure gradients, are equally as effective^[6,7]. Furthermore, we demonstrated that as the liquid moves from the airways and into lung tissue, it remains within the chest and so the chest wall must expand to accommodate both the volume of incoming air as well as the liquid which residing within the tissue^[3,8]. This explains why infants must have a compliant chest wall at birth, which stiffens in the first few weeks after birth, to avoid compromising respiratory function in the immediate newborn period.

Respiratory consequences of airway liquid clearance at birth

While respiratory distress (RD) in newborn infants is commonly associated with premature birth and immature lungs, it is more common in mature infants born at or near term, particularly in those delivered by elective caesarean section. These infants are born healthy, but gradually develop RD in the first 1 to 2 hours after birth, requiring admission into intensive care. This form of RD is characterised by tachypnea (increased breathing rate), hypoxia (low oxygen levels) and grunting during breathing. In the majority of infants, this form of RD is mild and self-resolving after a few hours and is commonly referred to as transient tachypnoea of the newborn (TTN) or “wet lung”^[9]. However, in severe cases, RD in mature infants can be life threatening and for > 40 years, was widely considered to be caused by an inability to clear the airways of liquid^[1]. An inability to clear airway liquid in the absence of labour was thought to explain the 4-fold higher prevalence of RD observed in infants delivered by elective caesarean section who do not

experience the “stress” of labour⁹. As such, adrenaline-induced activation of Na⁺ reabsorption would be reduced or absent, which would theoretically impede airway liquid clearance. However, our discovery made at SPring-8 (BL20B2) using PC X-ray imaging, demonstrated that the pressures generated by inspiration are primarily responsible for airway liquid clearance. Thus, as term infants with RD have increased breathing rates, they have an increased capacity to clear airway liquid.

In another discovery at SPring-8 (BL20B2) using PC X-ray imaging, we showed that the presence of larger volumes of liquid in the airways adversely impacts on respiratory function in the newborn and that this adverse effect was greater in more mature newborns delivered near term⁷ (proposal No. 2018A0150-2019B0150). This discovery uncovered a new mechanism to explain the RD in near term infants (term RD)⁸. That is, the presence of large volumes of airway liquid at the onset of air-breathing at birth requires all of that liquid to be cleared from the airways into lung tissue, causing pulmonary oedema. Logically, as the volume of airway liquid at birth increases, the degree of pulmonary oedema will worsen.

Consequences of elevated airway liquid volumes at birth

To investigate the theory that elevated airway liquid volumes at birth are largely responsible for term RD, we conducted further PC X-ray imaging studies at SPring-8. These studies have allowed us to define the full respiratory consequences of elevated airway liquid volumes at birth, providing compelling physiological evidence that greater airway liquid volumes at birth induce term RD. Specifically, we have shown that increased airway liquid volumes at birth:

1. Increase chest wall expansion and flatten the diaphragm,

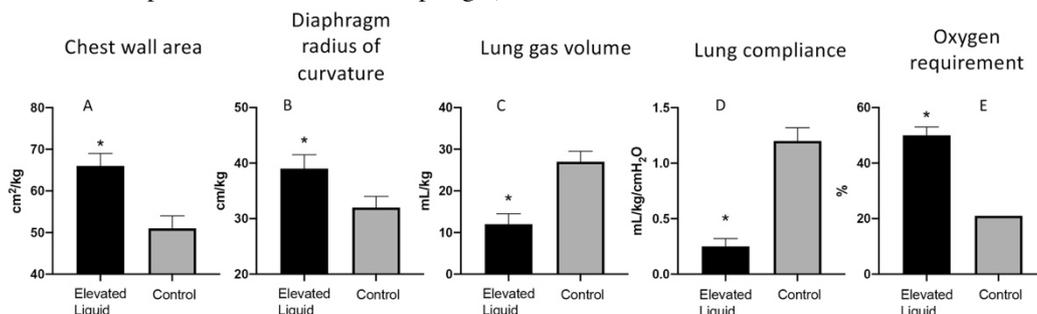


Figure 2 Elevated liquid volumes at the onset of air-breathing; (A) increases chest expansion as indicated by an increase in chest wall area, (B) flattens the diaphragm as indicated by an increase in the radius of curvature, (C) reduces the volume of gas retained within the lung at end-expiration, (D) greatly reduces lung compliance, and (E) increases the inspired oxygen content that is required to maintain oxygenation levels in the newborn.

which reduces the newborn’s ability to inspire and increases the work of breathing (Fig. 2A&B).

2. Reduces end-expiratory lung gas volumes between breaths (functional residual capacity, FRC), which is a localised effect specifically caused by the elevated liquid. Fig. 3 shows the effect of elevated liquid in the right lung only on FRC (Fig. 2C).
3. Reduce lung compliance, which contributes to reduced FRC and also limits inspiration (Fig. 2D).
4. Increases the need for supplemental oxygen to maintain oxygenation due to reduced gas exchange capacity (Fig. 2E).
5. Induces tachypnea (increased breathing rate) and expiratory braking, which is used to defend end-expiratory lung volumes, in spontaneously breathing newborns.

These findings have allowed us to develop the first ever animal model that recapitulates all of the respiratory morbidity characterised by term RD in spontaneously breathing newborn rabbits and sheep. Furthermore, it allowed us to propose strategies that may reduce the risk and/or severity of term RD in infants delivered by caesarean section.

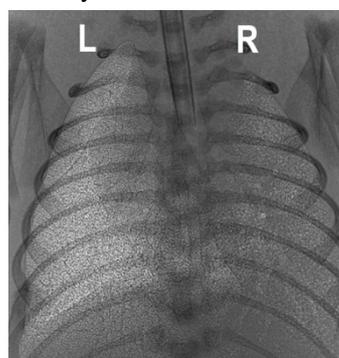


Figure 3 A comparison of aeration in the left (L) and right (R) lung, with the left having a normal level of lung liquid and the right having an elevated level of lung liquid at ventilation onset. This shows that the effect of elevated liquid on lung is regionally specific.

Implications of our findings and further studies

Our PC X-ray imaging studies at SPring-8 has prompted a new understanding of the causes and consequences of airway liquid clearance at birth. Our results clearly demonstrate that following birth, airway liquid is cleared from the airways and into lung tissue due to the pressure gradients generated during breathing. As such, all liquid present in the airways at birth must move from the airways into lung tissue. As this causes pulmonary oedema, it has the potential to adversely impact respiratory function, despite a highly compliant and expandable chest wall. Thus, term RD likely arises when the volume of airway liquid exceeds the volume of liquid that can be moved into lung tissue without increasing the level of oedema to the point that it adversely impacts on lung function.

Irrespective of whether airway liquid is cleared via Na⁺ reabsorption or via pressure gradients generated by inspiration, liquid cleared via these mechanisms must enter lung tissue, which risks the development of pulmonary oedema^[2]. The only other mechanism is liquid clearance via the nose and mouth during labour and vaginal delivery and, as a result, liquid does not enter lung tissue. While this mechanism is unlikely to result from “squeezing” the chest during delivery as previously suggested, an increase in dorso-ventral (knees to chest) flexion of the infant’s trunk could account for increased liquid loss from the airways during uterine contractions as previously described^[2]. While this mechanism cannot account for all the liquid cleared from the airways, the contribution of this mechanism ensures that the volume of liquid that must be cleared into lung tissue after birth is substantially reduced. As a

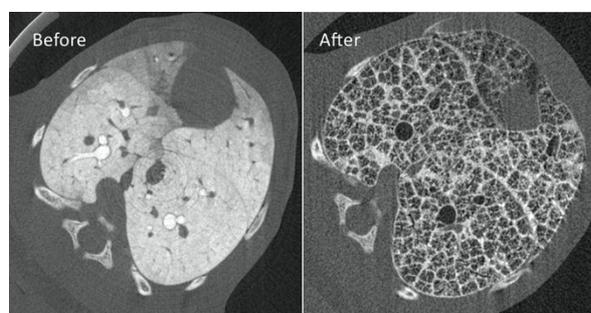


Figure 4 Computed tomography (CT) slices of the same lung in a rabbit kitten before and after lung aeration. An X-ray contrast agent was added to lung liquid before lung aeration to track liquid movement out of the airways and into lung tissue and then its clearance from lung tissue.

result, we are now undertaking a clinical trial to determine whether a knees-to-chest flexion of infants during caesarean section delivery reduces the risk of TTN after birth in infants delivered via this approach.

Our PC X-ray imaging studies at SPring-8 have provided definitive evidence that pulmonary oedema is the primary underlying cause of the RD suffered by mature infants born at or near term^[7,8]. It is also the underlying cause of the severe RD suffered by patients infected with the COVID-19 virus. However, we know very little about the pathophysiology of severe pulmonary oedema in this context and how the lung clears this liquid from lung tissue. At rest, lung interstitial tissue pressures are normally sub-atmospheric, which plays an important role in stabilising small airways, capillaries and lymphatic vessels. These structures have internal luminal pressures that are atmospheric or slightly above atmospheric, with the capillaries and lymphatics being the primary suspected route for liquid clearance from lung tissue. As the patency of these delicate structures are assisted by the sub-atmospheric pressure in the surrounding lung tissue, when interstitial tissue pressures increase due to oedema, these vessels collapse and the alveoli can re-flood. As a result, the only known routes for clearing this liquid from lung tissue close, trapping the liquid within the lung.

Very little is known about liquid clearance from lung tissue after birth and the factors that regulate this process but is clearly a critical piece of missing information. In recent experiments at SPring-8, we have developed a 3D computed tomography (CT) technique for tracking airway liquid as it leaves the airways and enters lung tissue after birth, providing the first definitive proof for liquid movement into lung tissue (Fig. 4). Using this approach, we plan to investigate the pathways and the factors that influence liquid movement from lung tissue and how this is influenced by the level of pulmonary oedema.

Conclusion

While the problems associated with airway liquid clearance at birth were considered to be uniquely relevant to newborn infants, it is becoming increasingly apparent that the underlying pathophysiology may also be relevant to COVID-19 patients with severe RD. The studies we have undertaken at SPring-8

have led to the discovery of how airway liquid is primarily cleared at birth and to a new understanding for the RD distress suffered by normal healthy infants born at or near term. We have collected compelling evidence to indicate that elevated airway liquid levels at the onset of air-breathing at birth leads to a level of pulmonary oedema that compromises respiratory function after birth. However, understanding how the lung clears this liquid from lung tissue will allow the development of treatments that not only benefit newborn infants but may also greatly increase survival in severely affected COVID-19 patients.

References

- [1] R. E. Olver, D. V. Walters and S. M. Wilson: *Annu. Rev. Physiol.* **66** (2004) 77-101.
- [2] S. B. Hooper, A. B. Te Pas and M. J. Kitchen: *Arch. Dis. Child. Fetal Neonatal Ed.* **101** (2016) F266-271.
- [3] S. B. Hooper, M. J. Kitchen, M. J. Wallace, N. Yagi, K. Uesugi *et al.*: *FASEB J.* **21** (2007) 3329-3337.
- [4] M. L. Siew, M. J. Wallace, M. J. Kitchen, R. A. Lewis, A. Fouras *et al.*: *J. Appl. Physiol.* **106** (2009) 1888-1895.
- [5] M. J. Kitchen, R. A. Lewis, S. B. Hooper, M. J. Wallace, K. K. W. Siu *et al.*: *American Institute of Physics* **879** (2007) 1903-1907.
- [6] M. L. Siew, A. B. Te Pas, M. J. Wallace, M. J. Kitchen, R. A. Lewis *et al.*: *J. Appl. Physiol.* **106** (2009) 1487-1493.
- [7] A. B. Te Pas, M. J. Kitchen, K. Lee, M. J. Wallace, A. Fouras *et al.*: *Pediatr. Res.* **80** (2016) 85-91.
- [8] E. V. McGillick, K. Lee, S. Yamaoka, A. B. Te Pas, K. J. Crossley *et al.*: *J. Appl. Physiol.* **123** (2017) 1204-1213.
- [9] L. Jain and G. G. Dudell: *Seminars in Perinatology* **30** (2006) 296-304.

第 25 回国際結晶学会議 (IUCr2021) 報告

公益財団法人高輝度光科学研究センター
放射光利用研究基盤センター
回折・散乱推進室 杉本 邦久

1. はじめに

3年ごとに開催されている国際結晶学会(IUCr2021: XXV Congress and General Assembly, International Union of Crystallography)であるが、COVID-19の影響で開催が延期され、2021年8月14日~21日の8日間にわたり実施された。本会議は、ハイブリッド開催で行われ、現地会場はチェコのプラハの中心部に位置するプラハ国際会議場(Prague Congress Centre)であり、現地での参加者(オンライン上から会場の様子を見る限り、多くはチェコの研究者と思われる)と世界各地からオンライン参加した多くの研究者により結晶学を中心とした議論が行われた。会議のプログラムは、基調講演で始まり、午前・午後のマイクロシンポジア、その後にポスター・セッション、そして1日の締めくくりに基調講演で構成されていた。会期全体を通して合計111のマイクロシンポジア(7つのスペシャルマイクロシンポジアのセッションを含む)が開かれ、8テーマの平行・セッション形式でCOVID-19以前と同じ規模で進められた。なお、本報告では、本会議が平行セッションであるため、筆者の専門に近い回折・散乱分野のみの報告になるが、ご容赦いただきたい。

2. Quantum Crystallography

国際結晶学連合(IUCr)には、現在、22分野の委員会が設置されているが、前回のIUCr2017より、精密構造解析や電子密度解析が関係する委員会は、“Charge, Spin and Momentum Densities”から、“Quantum Crystallography”と名称が変更になった。この目的とするところは、これまで推進してきた実験技術、理論、計算の研究だけでなく、さらに原子、分子、凝縮系物質における電子の電荷、スピン、運動量密度を一貫して理解することである。本報告では、

Quantum Crystallographyに関する講演を中心に報告させていただきたい。

最初に、西オーストラリア大学のDylan Jayatilaka氏の基調講演、“Quantum Crystallography: Past, Present, and Future”について報告する。本講演では、今後、Quantum Crystallographyの発展の鍵となる考えとして、結晶学者がこれまで電子密度や電位、核密度やスピン密度として扱ってきた散乱密度の概念だけでなく、モデル量としての基礎的な波動関数との組み合わせである発想に立って検討した研究について発表した。つまり、実験から波動関数を抽出するための過去の試みをレビューすることによって、波動関数に基づく考え方をを用いた回折実験から抽出できる情報量を相乗的に向上できることが示された。これには、既存の結晶構造のデータベース全体をより精度の高いものに再調整する機会も含まれている。また、量子化学者、電子・中性子回折、NMR結晶学の間で、将来的に同じ傘の下でつながって発展する機会についても指摘した。今後、このような取り組みは、マテリアルズ・インフォマティクスへの展開が期待される。

次に、“Quantum crystallographic studies on intra/inter-molecular interactions”のマイクロシンポジアのセッションでオーフス大学のJacob Overgaard氏が講演した、“Using advanced X-ray and neutron diffraction techniques in single molecule magnets research”について報告する。本講演では、単一分子磁石(SMM)のX線回折による実験的な電子密度から、これまで知られていなかった電子構造の詳細及びそのメカニズムの解明について報告があった。一般的に、SMMは、外部磁場によっていったん磁化されると、誘導された磁気モーメントが再配向に抵抗するという特性を持っている。外場に対する磁気反応(帯磁率で定量化される)は、外場と分子の相対的な向きに応

じて異なるが、この磁気異方性の理由は、軌道角運動量の存在にある。したがって、新規な SMM を開発するためには、電子キャリアが 3d 元素か 4f 元素かによって複合体の電子的な基底状態をどのように制御するかを理解する必要がある。4f ベースの SMM では、4f イオンの最も磁気的な価電子密度の形状に合わせて、相補的な配位子場を開発するというアプローチが広く行われている。そこで、X 線回折による実験的な電子密度から Dy 系 SMM の電子構造の詳細を明らかにし、そのメカニズムを解明した。また、3d 系では、配位子の磁場が非常に強いため、Co^{II} の歪んだ四面体錯体では、磁気異方性が増強される。ここでは、高分解能の放射光 X 線回折 (SR-XRD) と偏光中性子回折 (PND) を組み合わせて SR-XRD から電子密度の多極子モデルを抽出し、PND からは完全な帯磁率テンソルを抽出することにより、[CoX₂tmtu₂](X = Cl, Br, tmtu = tetramethylthiourea) の磁気異方性を定量化することに成功した。この実験結果は、第一原理計算によっても裏付けられていることを示した。

最後に、“Quantum crystallography in materials science”のマイクロシンポジアのセッションでワルシャワ大学の Magdalena Woinska 氏が講演した、“Towards accurate positions of hydrogen atoms bonded to heavy metal atoms”について報告する。

最近、非球面の原子散乱因子を用いた Hirshfeld Atom Refinement (HAR) により、標準的な分解能の X 線回折データに基づいて、軽元素に結合した水素原子の位置を中性子実験の結果に非常に近い精度で特定できることが示された。これは、最も一般的な独立原子モデル (IAM) と比較して大幅に改善された。本講演では、第一遷移元素 (Fe, Co, Cu, Ni)、第二遷移元素 (Nb, Ru, Rh, Sb)、第三遷移元素 (Os) の重金属に水素原子が結合した有機金属化合物の結晶のうち、対応する中性子構造が得られている約 11 個の X 線構造を HAR で精密化した結果が示された。精密化は Olex2 を使用し、DiSCaMB ライブラリで計算された原子非球面構造因子を適用して行われた。これは、半径 8 Å 以内にある周囲の分子の原子核を中心とした原子電荷と双極子のクラスターに埋め込まれた中心分子について計算された分子電子密度の Hirshfeld 分割に基づくもので、さらに NoSpherA2

を使用して多極子展開を含まない HAR による精密化が行われた。中性子と X 線の両方のデータセットについて精密化の検討を行った結果、典型元素-H の結合長は、典型元素の電子数と相関があることが示された。

3. おわりに

著者は、日本からオンラインで参加したが、土日を含む 8 日間の会期 (盆休みの真っ只中!) であり、さらに 7 時間の時差があるため、日本で生活しているのに時間差生活を送らなければならず、聴講にはかなり苦労した。しかしながら、オンライン参加の良いところは、やはり高額な出張費を使わずに最新の情報を得られるところではないかと考える。国内学会の年会などに比べて参加料は高いが、現地に行かずとも基本的には得られる情報は同じである。一方、デメリットとしては、休憩時間や懇親会などの場面で、対面で話を聞きに行くなんてことはできないため、コラボレーションが生まれる機会は皆無である。ある意味、学術セミナーに参加しているのに等しく、研究を進展させるための懇親の場とはなりにくい。最近では、擬似的に複数の参加者が対話できるツールを使っている国内外の学会を見受けられるが、実際に会って話をするのとは程遠い。また、ロックダウンのため自宅から接続していた講演者は、インターネット環境が必ずしも良好でないため中断したり、場合によっては、キャンセルしたりする講演も複数あった。多くの読者もコロナ禍の中、国際学会へのオンラインでの参加を強いられることを願ってやまない。

杉本 邦久 *SUGIMOTO Kunihisa*

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

第 18 回 SPring-8 産業利用報告会

公益財団法人高輝度光科学研究センター
放射光利用研究基盤センター
産業利用基盤開発推進室 堂前 和彦

1. はじめに

産業用専用ビームライン建設利用共同体（サンビーム共同体）、兵庫県、(株)豊田中央研究所、高輝度光科学研究センター（JASRI）、SPring-8 利用推進協議会の 5 団体の主催、及び理化学研究所 放射光科学研究センター、SPring-8 ユーザー協同体（SPRUC）、フロンティアソフトマター開発専用ビームライン産学連合体（FSBL）、総合科学研究機構中性子科学センター（CROSS 東海）、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、茨城県の後援で第 18 回 SPring-8 産業利用報告会が 9 月 1 日、2 日に神戸国際会議場において開催された。今回も前年に引き続き、新型コロナウイルス感染症の状況からオンラインとのハイブリッド開催としたが、8 月中旬から兵庫県が緊急事態宣言に入ったため、実質的にはオンラインでの実施となった。これまでに意見交換の場として開催されてきた交流会は今回も実施されなかった。

本報告会は主催団体の 4 団体（サンビーム、兵庫県、(株)豊田中央研究所、JASRI）がそれぞれ運用する専用および共用ビームラインにおける成果の報告会のジョイントとして構成され、その目的は、(1) 産業界における放射光の有用性を広報するとともに、(2) SPring-8 の産業利用者の相互交流と情報交換を促進することにある。また、SPring-8 立地自治体の兵庫県が SPring-8 の社会全体における認識と知名度を高める目的で 2003 年度より設置した「ひょうご SPring-8 賞」の第 19 回受賞記念講演が今年も併催され、さらに今回は理化学研究所および産業利用に関連する利用団体として、創薬コンソーシアムと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からの発表も行われた。2004 年の開催から 18 回を数え

る今回の総参加者は 295 名（現地参加 36 名、オンライン参加 259 名）であった。

2. 口頭発表（1 日目）

報告会 1 日目の口頭発表は 9 月 1 日の 12 時より会場 3 階の国際会議室において行われた。最初のセッション 1 の開会挨拶は、主催団体を代表して JASRI の雨宮理事長から挨拶があり、SPring-8/SACLA の産業利用に対する期待が大きいこと、その期待に応えるため産業利用推進室を 2 つに分けてサポート体制を強化したことを挙げられ、一層の産業利用推進の希望を述べられた。

次のセッション 2 の「豊田ビームライン研究発表会」では、豊田ビームライン BL33XU において (株)豊田中央研究所が実施した研究成果 2 件が発表された。1 件目の加藤氏の発表では、「放射光 X 線ラジオグラフィによる燃料電池内部の液水可視化」というタイトルで、新型 MIRAI の燃料電池セルに採用された絞り流路によるクロスフロー構造の効果を視覚的に確認するため、発電しながら X 線ラジオグラフィ観察を行い、リブ下部の液水の排水性を調べることで開発に貢献した結果について報告された。2 件目の馬原氏の発表では、「In-situ XRD/XAFS を用いた無秩序岩塩型 LiMnO_2 正極の構造解析」として、無秩序型岩塩構



写真 1 オンラインで挨拶する雨宮理事長

造 LMO は充放電サイクル試験により格子サイズが減少し、ミクロなスピネル構造への転移が生じることを Mn の EXAFS 解析により明らかにしたことを報告された。

セッション 3 では、理化学研究所から矢橋氏の「理研ビームラインの産業・イノベーションへの貢献」というタイトルでの発表があった。主な発表内容は、SPring-8/SACLA のグリーンファシリティ宣言に続き、ビームライン再編・改修に加えて、DX による自動化・リモート化の推進、SPring-8 データセンター設置構想を述べられた。また、大口利用の新たな形態として専用施設の保有でなくビームタイムに投資する仕組みについての説明があった。

セッション 4 の「サンビーム研究発表会」では、サンビーム共同体幹事であるパナソニック (株) の黒岡氏より、共同体の活動趣旨説明と共同体が運用する SPring-8 の産業用専用ビームラインサンビーム (BL16B2、BL16XU) の現状報告が行われた後、サンビームを利用した共同体参加企業の成果について 5 件の研究発表が行われた。最初は (株) 東芝の吉木氏より、「タンデム型太陽電池向け pn 接合界面のバンドオフセット解析」で、低コストなタンデム型太陽電池を目指して開発中である $\text{Cu}_2\text{O}/\text{Si}$ 系材料の界面のバンドオフセットを全反射 HAXPES で測定した結果について報告された。次に大阪大学/関西電力 (株) の大本氏より、「金属カチオン含有水溶液中でカソード分極した発錆炭素鋼のさびの構造」として、炭素鋼を大気暴露させた際の各種硫酸塩溶液の効果を調べた結果、溶液濃度が高いほどさび層の還元が抑制され Fe_3O_4 の増加速度も低下することが報告された。3 件目はソニーグループ (株) の新井氏より、「硬 X 線光電子分光法による GaInN/GaN 量子井戸のピエゾ電界評価」として、 GaN 系発光デバイスの In 組成とピエゾ電界の関係を HAXPES とシミュレーションで検討し、発光波長とピエゾ電界の相関を調べた結果の報告が行われた。4 件目は (株) 神戸製鋼所の小澤氏より、「イメージング XAFS・XRD によるさびの構造解析」として、 μm 分解能での XRD/XAFS 測定結果にニューラルネットワークを用いたクラス分類を適用し、Fe 酸化物の分布を明らかにしたとの報告が行われた。最後にサンビーム-イメージング SG の活動報

告「アルミ合金の引張その場放射光単色 X 線 CT」として、(株) コベルコ科研の福田氏より、12 分で ICT イメージ測定が可能となり、この技術を用いて Al 合金の引張り過程を観察した結果が報告された。

休憩の後、15 時半よりセッション 5 の「JASRI 共用ビームライン実施課題報告会」では、6 件の共用ビームラインの利用成果が報告された。最初に ENEOS (株) の木村氏より、「HAXPES による潤滑油反応膜の解析」として、角度分解 HAXPES を用いて潤滑油における潤滑膜の構造とベースオイルの極性および添加剤の鎖長との関係について調べた結果が報告された。次に (株) メニコンの伊藤氏より、「量子ビーム複数プローブ法による両親媒性ゲル表面構造の解析」として、コンタクトレンズ材料表面のプラズマ処理による親水化の効果を HAXPES により解析した報告が行われた。続いて京都大学の朝倉氏より、「実機耐久処理を経た Pd 触媒の排気ガス浄化反応と反応機構解析」として、実機耐久した Pd 系触媒のオペランド XAFS 解析について報告があった。4 件目は九州大学の小椎尾氏より、「超小角散乱測定による高分子材料の内部構造評価」として、フォルダブルディスプレイに用いられる PET フィルムの屈曲部に対する超小角散乱解析結果が報告された。その後出光興産 (株) の山口氏より、「放射光 XRD を用いた時分割構造解析の硫化物固体電解質への応用」として、全固体電池の電解質材料である $\text{Li}_2\text{S}-\text{P}_2\text{S}_5$ 系材料の昇温過程におけるガラス化に関する構造変化を PDF 解析した結果が報告された。最後に高輝度光科学研究センターの大坂氏より、「高効率化・省力化のための測定自動化技術の開発—粉末回折、小角散乱、XAFS—」として、BL19B2 および BL14B2 の試料交換用に開発したロボット (JukeBox と HummingBird) および、今後の自動化に関する計画が紹介された。

3. ポスター発表

報告会 2 日目の 9 時 30 分から 11 時 30 分まで会場 3 階のレセプションホールと Web 発表によるポスター発表が行われた。発表件数は、サンビーム共同体 25 件、兵庫県 19 件、豊田中央研究所 7 件、JASRI 共用ビームライン 20 件の計 71 件であった。今年度は会場の密を避けることを目的にポスター件数を制約

したため、協賛団体や他施設の紹介ポスター発表は行われなかった。また、本報告会では当初、ポスター発表者は会場での説明を予定していたが、急遽オンライン主体に変更となったため、会場と Web のいずれでも発表者による説明および質疑応答はなく、ポスターは掲示だけで質疑はメールによるものだけとなってしまい、十分な議論が行われたとは言えない結果となった。

4. 口頭発表 (2 日目)

ポスター発表終了後の 11 時 30 分より、セッション 6 「ひょうご SPring-8 賞表彰式・受賞記念講演」が行われた。今年度は阪本薬品工業 (株) の山田武氏が、「保湿剤の肌ナノ構造への作用メカニズム解明と製品化」で受賞された。雨宮理事長の授賞理由説明、齋藤兵庫県知事からの祝辞に続いて、山田氏による講演が行われた。講演内容は、グリセリンの皮膚角層への作用メカニズムを X 線回折法により解明・評価したもので、グリセリンは角質細胞内に入って水分を蓄え、細胞間脂質の水分量を制御していることを明らかにした。また、ジグリセリンも細胞間脂質に作用しており、両者の混合系が皮膚の保湿能を高めることを示した。

昼食後の 13 時 30 分からのセッション 7 「兵庫県成果報告会」では、横山ひょうご科学技術協会放射光研究センター長の「兵庫県における産業利用の取り組みについて」の発表の後、4 件の研究発表が行われた。

(株) 住化分析センターの末広氏より、「X 線タイコグラフィによるエンジン内堆積物の解析」として、各種の分析手法を組み合わせ、堆積物の発生源、生成環境、生成経路等を包括的に推定した結果が報告された。次に京都大学の金子氏より、「X 線マイクロビームを用いた準安定相酸化物の成長機構解明」として、



写真 2 ひょうご SPring-8 賞授賞式

パワーデバイス材料としての Ga_2O_3 の結晶相の違いに注目して、基板、温度、成膜法による成長相や転移に関する分析結果が報告された。3 件目は (株) コベルコ科研の福田氏より、「オペランド放射光 X 線 CT による過充電過程におけるリチウムイオン二次電池負極構造変化の観測」として、放射光 CT の測定とシミュレーションを組み合わせることで、二次電池内の Li の挙動の観察をできたことが報告された。最後に兵庫県立大学の渡邊氏より、「ニュースバルに於ける EUV リソグラフィー技術の研究開発の現状と今後の展開」として、今年度の 4 月から稼働したニュースバル用の新入射器、EUV リソグラフィー技術開発、分解能 30 nm の EUV 顕微鏡等の新たな技術が紹介された。

セッション 8 の「創業コンソーシアム」では、創業産業構造解析コンソーシアム幹事長である旭化成ファーマ (株) の田中氏より、「創業産業における SPring-8 の利用」として、蛋白コンソの後継組織として 2012 年 4 月より 18 の製薬・創業会社で活動を開始したこと、コンソーシアムの使命である「医薬品研究開発に貢献する立体構造解析技術の獲得とその利用の推進」を実現するために、医薬品研究開発への適用可能性を早期に判断できるようにすること、構造解析に関する最先端技術を利用できる体制を構築することを目指していることを報告された。

セッション 9 の「フロンティアソフトマター開発専用ビーライン産学連合体 (FSBL)」では、FSBL 代表である旭化成 (株) の松野氏より、「FSBL の概要と事例紹介」として、2019 年 9 月に第 2 期が 15 社で発足したことが報告され、その後 4 件の研究事例が紹介された。

セッション 10 の「講評」では、理化学研究所放射光科学研究センターの石川センター長から報告会全体の講評が行われた。昨年の要望として挙げられた「施設の方向性と産業利用の方向性の検討」に対しては、方向性を揃えていく試みが始まっており、SACLA の産業利用も始まっているとの評価があった。さらに、昨年の講評で述べられた 3 つの項目に対して以下のように述べられた。1 番目の産業利用ユーザーの広がりへの対応に対して、今回、改善はあったが内容が多いため少し薄くなった印象がある。また、本当に必要なユーザーにまで情報が十分に届いているかが不明

である。2 番目の SPring-8-II への対応と 3 番目の産業利用プログラムの連携による世界が抱える大問題への対応に関しては、引き続きの検討が必要である。最後に SPring-8/SACLA が、リサーチコンプレックスからリサーチリンクージへの発展の期待を述べられた。

JASRI の山口常務理事から閉会の挨拶により、第 18 回 SPring-8 産業利用報告会が終了した。

5. おわりに

昨年に引き続きハイブリッド形式での開催であり、今年はオンライン主体での実施となったため、参加者間での議論の盛り上がりには欠ける報告会と感じられた。当初はポスター説明を含めて現地での発表を予定していたが、直前にオンライン主体に変更となり、事務局および関係者は大変なご苦勞をされたことと思われるが、大きな問題もなく無事に開催できたことに対して、主催 5 団体のご尽力と後援団体のご協力にこの場を借りて感謝の意を表したい。また、来年は交流会を含めて参加者が一堂に会して議論できることを期待したい。

堂前 和彦 DOHMAE Kazuhiko

(公財) 高輝度光科学研究センター
放射光利用研究基盤センター 産業利用基盤開発推進室
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-0978
e-mail : kdohmae@spring8.or.jp

「meV-Resolved Inelastic X-Ray Scattering」 会議報告

公益財団法人高輝度光科学研究センター
放射光利用研究基盤センター 精密分光推進室
石川 大介、内山 裕士、バロン アルフレッド

2021年9月6日～9日(月～木曜日)、meV分解能非弾性X線散乱(meV-IXS)ワークショップがSPring-8を宿主としてオンラインで開催されました(<http://mevixs2021.spring8.or.jp>)。meV-IXSが利用可能なのは現在4施設(SPring-8、APS、NSLS-IIおよびESRF)で、種々の試料環境下におかれた結晶、液体、ソフトマターにおける原子スケールの振動状態を研究するための手法となっています。今回のワークショップは、特にパンデミック下で渡航制限や情報停滞などに直面している当分野の研究者に最新の研究活動の発信の場を提供し情報共有することを主な目的としています。ワークショップのテーマ設定および主催は、SPring-8(A. Baron)が担当しました。また、本ワークショップは、放射光利用研究基盤センター(CSRR)の承認と事務局のサポート(関澤氏、國武氏および辻氏)のもと行われました。各セッションのプログラムは施設毎に生まれ(SPring-8: A. Baron・内山・石川、APS: A. Alatas・A. Said・T. Gog、NSLS-II: Y. Cai・M. Zhernenkow、ESRF: A. Bosak)、講演内容は、直近2～3年以内に発表された最新の研究に絞られました。

ワークショップは各国の参加者がアクセスしやすいよう1日3時間のセッションを4日間かけて開催されました。開催時間は、米国で早朝、欧州で日中、アジアでは夜遅い時間帯となりました。これは2021年1月SPring-8主催で開催された核共鳴散乱ワークショップ(<http://www.spring8.or.jp/en/ExNRS2021/>)とよく似た形式となりました。各開催日为一个の施設が担当し、初めに各施設の俯瞰・動向が述べられ、その後6件程度の招待講演が行われました。一つのセッションを短くすることで、どの地域にも過度な負荷が掛からず時差の異なる参加者が容易にアクセ

スすることができました。

参加者は最大100名程度でした。以下に概要を紹介します。

施設ごとの特徴を要約すると、背面反射スペクトロメータをもつ施設(SPring-8、APS and ESRF)では着実に一般ユーザープログラムが進められている状況となっていました。ただし、重視している点に若干差が見られました。SPring-8(talk by A. Baron)では、横波の観測が可能な2次元アナライザーを最大限活用しており、また一方で高フラックスと微小(5 μm)ビームサイズのX線により高圧力科学に比重を置いていました。その他不規則系、特に液体のsub-meVの研究も促進していました。APS(talk by A. Alatas)からは、1次元配列のアナライザーをもつスペクトロメータとIXS検出器として新たに導入した位置敏感検出器(CdTe Pilatus)についての報告が行われました。APSユーザーからの多くの報告では、フォノンの非調和性や寿命を丁寧に扱った計算手法が活用されていました。複雑な物質のフォノンの測定結果をよく説明でき、実験と計算の連携で高い相乗効果が得られていました。ESRF(talk by A. Bosak)で注目すべき点は、IXSスペクトロメータと並行してサイドブランチにX線散漫散乱装置が整備されていることで、IXSと相補的なX線散漫散乱の測定が可能になっています(これに似たセットアップはSPring-8のBL02B2にも整備されています)。ESRFからは、また、最近アップグレードされたExtremely Brilliant Source(EBS)により、将来1ミクロン程度かそれ以下までビームを集光できる可能性があることが示されました。NSLS-II(talk by Y. Cai)からは、試料位置におけるX線強度について近年顕著な進展が見られたことについて報告があ

りました。このセッションのいくつかの講演はスペクトロメータの光学系とその高度化に関するもので占められていました。現在の分解能が ~ 1.8 meVであることが強調されていました。最近では測定する対象を軽元素の生物試料からより古典的な結晶フォノンに広げていることも述べられました。特に注目すべき点は、光学系の要である(1.2 m長)フラットアナライザーの詳しい調査がかなり進んだことで、効率化と分解能が共に将来大きく改善される見通しが示されたことでした。

プログラムの詳細は以下の通りです。各講演のアブストラクトは、Webから閲覧可能です。

初日(月曜日)。SPRING-8からの講演内容は次の通りでした。高圧力2件—単結晶 < 100 GPa(福井:兵庫県立大)、粉末200 GPa超(生田:東北大)。単結晶3件—フォノン角運動量(新居:東北大)、鉄砒素系超伝導体の量子液晶(D. Reznik: U. Colorado)、HfNエピタキシャル薄膜のフォノンバンドギャップ(B. Saha: Nehru Center)。液体3件—液体のバイエルス歪(乾:広島大)、 $S(Q, \omega)$ から $G(r, t)$ への変換と水溶液の局所ダイナミクス(篠原: ORNL)、超臨界水で動的な視点から gas-like と liquid-like を明瞭に区分する尾根線上の境界を発見(P. Sun: Stanford)。

2日目(火曜日)。APSからの講演は次の通りでした。初めの2件は、TaS₂の電荷密度波(J. Hong: BIT)と超伝導体のフェルミ面でのギャップの開きがフォノン分散へ与えるインパクトについて(F. Weber: KIT)。次の1件は、非調和フォノンを取り扱った先端的フォノン計算で多くの物質で非調和フォノンの特徴をよく説明できていた(O. Delaire: Duke)。次は、機械学習によるフォノン分散の予測と実験結果との良い一致(M. Li: MIT)。その後、トポロジカルフォノン(H. Miao: ORNL)について。最後に、高圧力下のd電子遷移金属が及ぼすフォノンへのインパクト(J. F. Lin: U. Texas)の講演が行われました。

3日目(水曜日)。NSLS-IIからの講演は、ソフトウェアとIXS装置関係で占められました。1件目は、固体の粒子を入り口にして液体系でフォノンがどのように変わるかについて、2件目は、液晶(D. Bolmotov: ORNL)、3件目は、脂質膜ダイナミクスの計算(E. Lyman: U. Delaware)と何箇所かで行われたIXS測定の結果について発表が行われました(M. Zhernenkov: NSLS-II)。CdTeのトポロジカルフォノンについて1件報告がありました(Y. Shen: BNL)。残り2件は、挿入光源の高度化(O. Chubar: NSLS-II)とIXSビームライン光学系の概説についての講演(A. Suvorov: NSLS-II)でした。

4日目(木曜日)。最後の1件を除く全てがESRFからの報告でした。初めにX線散漫散乱について広範な議論が行われました。特に準2次元強相関電子系(A. Bosak: ESRF)とウラン化合物におけるフォノンの構造無秩序の効果(D. Chaney: ESRF)について活発な議論が行われました。その後、フランシサイト化合物におけるソフトモードを伴う強誘電体相転移(M. Gennou: Luxembourg Inst. Sci & Tech)と一軸性歪みを利用した銅酸化物高温超伝導体のCDW制御(M. Le Tacon: KIT)の発表が行われました。ESRFからの最後の講演は、UO₂に巨大なフォノン線幅を生じさせる電子格子相互作用に関するものでした。ワークショップ最後には、H. Yavas氏がSLAC/LCLSに計画中のX線レーザーを用いた時分割IXS実験について講演が行われました。講演では、 ~ 10 meV程度の分解能をもち5-15 keVでエネルギー可変なIXSおよびRIXS用モノクロメータの設計について説明がありました。

全体を総括すると、この分野は健在で順調に発展していることが確認できました。超伝導体や電荷密度波を含む一般的な原子振動の研究とは別の次に挙げるテーマ・方向性も見られました。(1)微小角入射配置による薄膜の研究、(2)構造無秩序性からのフォノン応答の効果、(3)キラル物質と強磁場下におけるフォノン研究。極限条件下、特にダイヤモンドアンビルセルを用いた高圧力の分野も多くの施設で継続して促進されていました。

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
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-0802
e-mail : disikawa@spring8.or.jp

内山 裕士 UCHIYAMA 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
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-0802
e-mail : uchiyama@spring8.or.jp

バロン アルフレッド BARON Alfred

(国) 理化学研究所 利用技術開拓研究部門
物質ダイナミクス研究グループ
〒679-5148 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1

(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
e-mail : baron@spring8.or.jp

「第7回大型実験施設とスーパーコンピュータの 連携利用シンポジウム」報告

公益財団法人高輝度光科学研究センター
放射光利用研究基盤センター
回折・散乱推進室 筒井 智嗣

1. はじめに

2021年9月14日に、公益財団法人高輝度光科学研究センター (JASRI)、一般財団法人総合科学研究機構 (CROSS) 及び一般財団法人高度情報科学技術研究機構 (RIST) の主催で、「第7回大型実験施設とスーパーコンピュータの連携利用シンポジウム」が開催された。本シンポジウムは、大型実験施設である SPring-8/SACLA 及び J-PARC、スーパーコンピュータである「富岳」の登録機関である上記の3登録機関で、実験による実証と計算によるシミュレーションの連携利用による新たな利用成果の創出を目的として一昨年まで毎年再開されてきた。

2年ぶりに開催された本シンポジウムは、幾つかの点で初めての試みを取り入れて開催することになった。一つは昨今のコロナ禍による講演者及び参加者の感染症拡大防止という観点から採用されたオンライン開催となったこと、もう一つは外部機関の先生方に企画委員としてプログラム選定の段階から参画いただいたことである。今回初めて採用した企画委員会には、秋光純先生 (岡山大学)、岸根順一郎先生 (放送大学)、遠山貴巳先生 (東京理科大学)、中島多朗先生 (東京大学)、廣井善二先生 (東京大学)、山室修先生 (東京大学) に参画していただき、3登録機関の代表とともにシンポジウムのテーマ選定と講演者の選定を行った。

企画委員会では、今回のシンポジウムでは従来と異なり、敢えて特定のテーマを設定せずに開催することとし、計算機を用いた連携利用を促進するという観点で少し理論研究に重きを置いた以下のようなプログラム編成となった。

・開会挨拶

雨宮 慶幸 (JASRI)
柴山 充弘 (CROSS)

- ・各施設の利用状況と三機関の利用促進活動について
木下 豊彦 (JASRI)
鈴木 淳市 (CROSS)
須永 泰弘 (RIST)
- ・シンポジウムの趣旨説明
秋光 純 (岡山大学)
- ・放射光実験の横断利用による原子ダイナミクスの研究
筒井 智嗣 (JASRI)
- ・X線とレーザーを組み合わせたスピンドダイナミクス研究
和達 大樹 (兵庫県立大学)
- ・量子ビームの非弾性散乱実験と連携した強相関電子系の理論研究
遠山 貴巳 (東京理科大学)
- ・中性子散乱と放射光 X 線散乱によるトポロジカル磁気秩序の研究
中島 多朗 (東京大学)
- ・計算と実験の協奏による生体高分子の作る溶液中での高次構造とそのダイナミクス解析の挑戦
杉山 正明 (京都大学)
- ・超高压下のミュオンスピン回転・共鳴測定と室温水素化物超伝導
有田 亮太郎 (東京大学)
- ・ガラス転移からアクティブマターまで ～非平衡ソフトマター理論の最前線～
宮崎 州正 (名古屋大学)
- ・パネル・ディスカッション「新しいサイエンスへ向けて」
- ・閉会挨拶
田島 保英 (RIST)

2. 会議報告

第1セッションでは、主に放射光 X 線及び自由電子レーザーの利用もしくはその利用による実証に関

する講演が行われた。1件目は筆者自身が、熱電材料を主たるテーマとして放射光の横断的利用、放射光と中性子との連携利用のメリットと最近の熱電材料におけるフォノンに関する講演を行った。2件目は、兵庫県立大学の和達大樹先生による放射光 X 線と実験室光源のレーザー、自由電子レーザーを利用した遷移金属磁性体における外場によるスピン反転制御、その観測としてのスピンドイナミクスに関する講演が行われた。3件目は東京理科大学の遠山貴巳先生による放射光 X 線や中性子を用いた非弾性散乱スペクトルの解釈に向けた理論計算、及び自由電子レーザーを用いた短寿命の電子系励起状態に関する理論計算に関する講演が行われた。

第2セッションでは、主に中性子の利用に関する講演が行われた。1件目は東京大学の中島多朗先生が、近年精力的な研究が進められている磁気スキルミオンの種々の問題について中性子と放射光を利用した磁気構造に関する研究に関する講演が行われた。2件目は京都大学の杉山正明先生より、中性子散乱における水素の同位体効果を効果的に利用した生体高分子の溶液散乱やその解析に基づく生体時計に関わる高分子のダイナミクスに関する講演が行われた。

第3セッションでは、理論に関する講演が行われた。1件目は東京大学の有田亮太郎先生より、最近圧力下で室温に近い超伝導転移温度を有する化合物における超伝導発現機構を微視的に理解するプローブとして水素様の振舞いを示すミュオンをプローブとする研究指針、強い量子効果のもとでのフォノンに関する理論計算に関する講演が行われた。2件目は名古屋大学の宮崎州正先生より、ガラスと非平衡状態に関する2つのテーマについて、ガラス転移の定義における問題点及び、非平衡状態と同時に扱う問題設定からお話しいただいた後、当該分野の理論研究の最前線についての講演が行われた。

最後のパネル・ディスカッションでは、東京理科大学の遠山先生、東京大学の山室先生と筆者がモデレータとなり、各セッションの講演者である和達、中島、杉山、有田、宮崎各先生をパネラーとして行った。議論は、2つのテーマで行った。一つは大型実験施設とスーパーコンピュータのサイエンスベースでの先端利用に向けてのテーマとして励起状態及び非平衡状

態について議論し、もう一つは実験施設と計算機の連携利用に向けてのテーマとしてモデリング及びシミュレーションについて議論した。

3. おわりに

本シンポジウムでは、固体物理を中心とした大型実験施設やスーパーコンピュータの連携利用による課題解決を念頭に置いたご講演を企画委員会の先生方が推薦する第一線で活躍されている先生方にご講演をいただいた。また、これまでのシンポジウムの参加者の2倍近い222人の方々にご参加いただいた。オンラインで出張を伴わない参加が可能となったことが要因の一つとして考えられる。おかげさまでシンポジウムを盛会のうちに終えることができた。実行委員の一人として感謝申し上げたい。一方で、初めてのオンライン開催の課題として、講演に対する質疑応答やパネル・ディスカッションの進め方について手探りの部分がぬぐえず、活発な議論を進めるための準備が必ずしも十分ではなかったことは反省点である。コロナ禍が収束し、従来の対面方式による開催も期待されるが、今後連携利用を推進及び成果の創出に結びつくシンポジウムとなるように今後の開催方法やテーマの選定方法を検討したい。

筒井 智嗣 *TSUTSUI Satoshi*

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

SPring-8 シンポジウム 2021 報告

SPring-8 ユーザー協同体 (SPRUC) 行事幹事
 筑波大学 数理物質系 西堀 英治
 岡山大学 異分野基礎科学研究所 横谷 尚睦

はじめに

去る9月17日(金)、18日(土)に、SPring-8 シンポジウム2021が、SPring-8ユーザー協同体(以下、SPRUC)、高輝度光科学研究センター(以下、JASRI)、理化学研究所(以下、理研)の三者の主催により開催されました。第10回目となった本年度のシンポジウムは、学术界のみならず、産業界の研究者や技術者の参加により、変化する社会にどのように対応していくかではなく、むしろ新たなSPring-8の将来像を描き、そこからのバックキャストによる現在と将来の利用について議論ができることを期待し、「SPring-8 将来像からのバックキャスト」と題し、オンラインで2日間開催されました。講演者でSPring-8への来所が可能な方はSPring-8 普及棟大講堂に集まり講演する形をとりました(写真1)。質問はチャットを経由して受け取り、座長が講演者に伝えるようにしました。開催方式の検討と当日の運営についてはSPRUC 庶務幹事の奈良先端科学技術大学院大学の松下智裕教授にご尽力いただきました。

セッション | オープニング

オープニングセッションでは、木村昭夫 SPRUC 会長(写真2)より開会の挨拶がありました。続いて、台風のため急遽オンライン参加となった理研の小寺秀俊理事から挨拶がありました。今回は、接続の都合で画面なし音声のみの挨拶となりました。JASRI の雨宮慶幸

理事長(写真3)より、現地での挨拶がありました。最後に、文部科学省 科学技術・学術政策局 研究開発基盤課 古田裕志課長から来賓挨拶をいただきました。来賓挨拶も、接続がうまくいかなかったため音声のみとなりました。それぞれの方々の挨拶の中で、8月にSPring-8、SACLAで行われたグリーンファシリティ宣言が大きく取り上げられ、SDGsの中でのSPring-8およびSPRUCの役割を強く認識させられました。



写真2 SPRUC 木村会長



写真3 JASRI 雨宮理事長



写真1 当日のSPring-8 普及棟大講堂

セッションII 施設報告

セッションIIでは、施設報告として、理研とJASRIから、理研放射光科学研究センター 物理・化学系ビームライン 基盤グループ 矢橋牧名グループディレクター (GD) (写真4)、JASRI 光源基盤部門 後藤俊治部門長 (写真5)、JASRI 放射光利用研究基盤センター 坂田修身副センター長 (写真6)、理研 城地保昌博士 (写真7) による講演が行われました。矢橋GDからは、「近況と展望」と題した講演が行われました。SACLA入射が完全に実現したことを述べられた後、施設内で進められている改修状況について説明がありました。HAXPESの立ち上げ状況がビームライン基幹部から計測コンポーネントだけでなく、制御システムまで含めて進められていることが紹介されました。続けてBL35XU、BL20B2など共用ビームライン (BL) の高度化の状況が紹介されました。その後、BL05XUの高エネルギーテストの状況について説明がありました。また、DXデータインフラの改編の説明がありました。ユーザーがリアルタイムで参加するか？しないか？で場合分けをし、そのそれぞれの場合について説明がありました。それ以外の高度化として試料準備のDX化の粉末回折の例が紹介されました。検出器の高度化としてSPring-8で開発されたCITIUSの紹介がありました。施設のグリーン化・老朽化対策の最後として、SPring-8-IIのアップデートについても触れ講演を終わられました。

後藤部門長からは、「利用制度について」と題した講演が行われました。最初に国の中間評価の指摘に基づき検討が始まった利用制度の検討状況の背景と目的について説明がありました。検討状況は共用BLから始めていること、課金ルールを変えない形で進められているとのことでした。2022A期より随時受付の緊急・特別課題、随時受付で1時間単位利用のテストユ

ース課題、大学院生提案型課題 (長期型) が設定されることが報告されました。2021年8月のSPring-8選定委員会です承されたとのことでした。2022B期以降として、長期有償利用課題の新設と課題募集の頻度を年6回にすることを検討しているとのことでした。今後の検討課題は、入口課金の拡張があるとして、競争的資金以外への課金や海外ユーザーへの課金などが検討されているとの話がありました。

坂田副センター長からは、「回折散乱 BL 再編の現状」と題した講演が行われました。最初に再編のねらいとして基盤的な分析装置群の高性能化や産学連携のさらなる促進を目指しているとの説明がありました。次に、研究会からのレスポンスと要望として、各研究会から出された要望が紹介されました。続けて、2022A期以降のBL13XUのハッチと装置の配置について説明がありました。4つのハッチに6軸回折計、回折計測汎用フレーム、高分解能粉末PDF回折計、ナノビーム回折計が設置されるとの説明がありました。その後、高分解能粉末PDF回折計の詳細について機能、スペックの説明がありました。また、6軸回折計、回折計測汎用フレームについても簡単な説明がありました。最後にこれらのBLは年6回の課題募集を計画しているとの話がありました。



写真4 理研 矢橋GD



写真5 JASRI 後藤部門長



写真6 JASRI 坂田副センター長



写真7 理研 城地氏

城地保昌博士からは、「SPring-8 データセンター構想」と題した講演が行われました。まず、モチベーションとして解析律速の解消についての説明がありました。データは大量にとれるようになったが、解析に時間がかかっている。その解消が目的であるとの説明がありました。解析律速の原因と対策として、データセンターの設置により並列解析を促進し時間の短縮を目指すとのことでした。データセンターに求められる機能として、実験中にデータの質が確認できること、SPring-8 外の研究者と円滑に情報共有できること、外部の計算機資源（富岳など）とシームレスに接続できること、データが管理できることが重要だと考えているとの報告がありました。数値性能についても CPU 数、GPU 数、ストレージなどの具体的な数値が示されました。また、SPring-8 の共用実験ネットワークの再編が進められていることについても説明がありました。情報は <https://dncom.spring8.or.jp/> で紹介されるとのことでした。

セッション III SPring-8 の将来像

セッション III では、SPring-8 の将来像と題して3件の講演がありました。初めに、関西学院大学の水木純一郎教授（写真8）から、「持続可能な社会実現に欠かせない SPring-8」と題した講演が行われました。最初に事業仕分けと日本の半導体産業を挙げ、バックキャストの重要性が述べられました。将来像として、SPring-8 から毎年 100 名以上の博士取得者が生まれることが掲げられました。SPring-8—大学連携を GGS と名付け、そのあり方についての説明がありました。キーワードはグローバル化であり放射光の国際性を利用した活動の例の説明がありました。最後に、持続可能な社会実現に欠かせない人材を輩出する SPring-8 と講演をまとめられました。

次に、名古屋大学の唯美津木教授（写真9）より、「物

質科学の発展に資する SPring-8 での計測の将来像」と題した講演が行われました。最初に複数の分野の融合がサイエンスを生み出すということを述べられました。物質科学者として計測を物質開発にフィードバックすることの重要性が様々な例を使って丁寧に述べられました。その後、ご自身の触媒の最先端可視化研究の成果が示されました。最後に 1.オンリーワンの研究開発を実現する場、2.社会研究開発の基盤ツールを提供する場として SPring-8 の将来像を設定されました。

最後に、物質・材料研究機構の石井真史博士（写真10）より、「データサイエンスにおける SPring-8 の役割」と題した講演が行われました。昔は SPring-8、現在は NIMS でデータプラットフォームセンターにいる立場からの講演であるとの話がありました。最初にマテリアルズ・インフォマティクスの中のデータ利用のあり方について説明がありました。「データ流通」、「データ統合」の説明があり、概念としての Ontology や Schema の説明がありました。その次に、XAFS のデータベースとして MDR XAFS DB の説明がありました。Ontology の例を述べ、我々の現時点の状況について述べられました。最後に将来像として放射光を計測の中で機械接続と可能な形で体系化すること、データをつなげデータサイエンスでの利用を促進すること、知識基盤を作り、データの信頼性を高めることを述べ、まとめられました。

セッション IV パネルディスカッション

セッション IV では、今回で5回目となる「パネルディスカッション」が行われました。木村会長を司会者とし、パネリストとして、石川哲也氏（理研 放射光科学研究センター）（写真11）、矢橋牧名氏、唯美津木氏、栗栖源嗣氏（大阪大学）（写真12）、雨宮理事長、鈴木宏輔氏（群馬大学）（写真13）、高山裕貴氏（兵庫



写真8 関西学院大学 水木氏



写真9 名古屋大学 唯氏



写真10 物質・材料研究機構 石井氏

県立大学) (写真 14)、富田夏希氏 (大阪大学) (写真 15)、水木純一郎氏、石井真史氏が会場およびオンラインで参加しました (写真 16)。当パネルディスカッションのテーマは、「SPring-8 将来像からのバックキャストイング」です。最初に、司会の木村会長よりセッション III を振り返り将来像の設定の話がありました。次に、矢橋氏より、「2050 年の社会と SPring-8」と題し、将来像のピン止め係としての話題提供がありました。2050 年の理由としてグリーンファシリティ宣言と、SPring-8-II の賞味期限が 2050 年に対応するとの説明があり、4 つのシナリオが示されました。シナリオ 1 は、2050 年は SPring-8-II になっているという positive なものでした。シナリオ 2 は、SPring-8 は II にはならず、SPring-8 のままかろうじて稼働中というものでした。シナリオ 3 は、国家群の 1 国となり SPring-8 は稼働中、シナリオ 4 は SPring-8 が 2050 年にはなくなっているというものでした。この発表に続き、唯氏よりスライドを使った科学技術イノベーション白書の扉絵が示されました。その後、人財、技術、環境を繋ぐ SPring-8 という将来像が説明されました。次に、生命科学分野の重要性が木村会長より述べられ、栗栖氏より、「生命科学における構造生物学の位置づけから考えてみた」と題して将来像と考えが述べられました。次に現在の構造生物学の位置づけが示さ

れ、それに続けて将来の構造生物学の予想が示されました。将来の構造生物学は、Google Earth の細胞版のようなものであることなど分かりやすい絵を使った 30 年後の未来像が示されました。現在何をすべきかについては、データ科学の進歩によるたんぱく質の折り畳みが予測できた例や、データイメージの公開による COVID-19 の構造解析の進展などが示されました。雨宮理事長から唯氏、栗栖氏に質問があった後、若手研究者として、鈴木氏、富田氏、高山氏が講演に対する意見を述べました。物質科学のデータに関して石井氏が意見を述べた後、唯氏から石井氏へ現状の問題点が何か? についての質問がありました。続けて、木村会長より今日の発表の中から大学院生の長期利用課題についての話があり、JASRI 木下豊彦利用推進部長より、新しい大学院生提案型課題の詳細についての説明がありました。その後、水木氏よりご自身の構想について詳細な説明がありました。また、石川センター長からも人材育成へのコメントがありました。最後に木村会長が議論をまとめたところ、東北大学高田氏より SPring-8 が宣言したカーボンニュートラルについての進め方についての質問が石川センター長に向けてありました。以上のように意見をまとめる形ではなく様々な方向に議論が進みどちらかといえば考え方の多様性が示された形で終了しました。



写真 11 理研 石川センター長



写真 12 大阪大学 栗栖氏

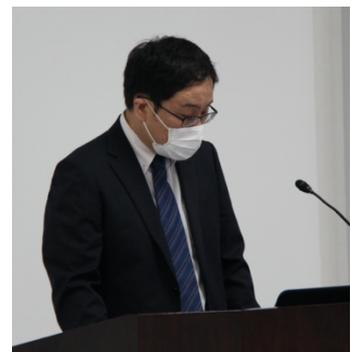


写真 13 群馬大学 鈴木氏



写真 14 兵庫県立大学 高山氏



写真 15 大阪大学 富田氏



写真 16 パネルディスカッション会場の様子

セッションV 利用トピックス1

セッションVは、利用トピックス1として4件のユーザーからの研究発表がありました。1件目は、「SPring-8 放射光 CT を用いたはやぶさ2 サンプルの分析と準備」と題して立命館大学の土山明氏(写真17)より講演がありました。はやぶさ2の2回のタッチダウンの説明から始められ、2021年6月より本格的な回収物の探索が行われているとのことでした。はやぶさ2探査機が明らかにしたC型小惑星リュウグウの特徴について、赤外スペクトルや拡大写真を使って説明がありました。研究の目標が示された後、サンプル分析のチーム構成、SPring-8の2019Aから2021Aの長期利用課題での進め方についての報告がありました。BL20XUでは吸収、回折、微分位相の3種類のCTを統合した統合CTを駆使して回収物の組成の決定を進めているとのことでした。BL47XUでは2種類の分析用CTにより微小粒子の分析を行っていました。一つは結像型CTで、もう一つは位相像を得るSIXMです。これらの計測に最終的にはTEMを組み合わせてC型小惑星の風化プロセスを明らかにしたとのことでした。2件目として、「高圧下その場における非晶質物質の動径分布関数測定」の講演が愛媛大学の河野義生氏(写真18)より行われました。高エネルギーのX線を利用した非晶質物質の研究について技術開発も含めて進めており、その技術開発も含めた紹介を行うとの報告がありました。目標は液体-



写真17 立命館大学 土山氏



写真18 愛媛大学 河野氏

液体転移やマグマなど広い科学分野があるとのことでした。最初に実験技術の現状の到達点として、測定Q範囲のグラフが示されました。国際的には同様な開発はAPSやESRFで主に行われているとのことでした。河野氏は、APSのBLサイエンティストで高圧非晶質の研究を進めていたことがあり、その当時の成果であるSiO₂の高圧構造変化(*Phys. Rev. Lett.* 2020)の研究が報告されました。SiO₂は室温常圧の4配位が高圧で6配位に変化することが示され、さらなる高圧で配位数が増えるかどうか地球科学の大きな問題とのことでした。現在SPring-8の基盤開発プログラムで進めている高エネルギー高圧の動径分布(PDF)解析で世界最高性能を目指しているとのことでした。BLはBL05XUで、X線エネルギーは100 KeVを利用しています。現状のデータをAPSでのデータと比較して示され、装置のQ範囲と強度が世界最高のデータが得られていました。3件目は、京都大学の奥地拓生氏により、「衝撃圧縮による惑星物質の高密度原子配列の生成過程」と題した講演が行われました。最初に、45億年前に太陽系で起こったことを地上で実験していると研究全体の説明がありました。クレータや隕石に残る45億年前の衝突の証拠に注目し衝突の研究をしているとのことでした。次に、静的圧縮との対比から衝突の対象となる衝撃圧縮の過渡現象であるがゆえの難しさについての説明がありました。SACLAで行われている高強度レーザーを使った実験についてセットアップの説明がありました。最新の成果としてカンラン石のナノ秒スケールの衝撃波の伝搬に伴う酸素層間の構造変化についての報告がありました。セッションの最後の講演として、「高エネルギーX線コンプトン散乱によるリチウム電池研究」が群馬大学の鈴木宏輔氏より発表されました。蓄電池研究に関するイントロが示された後、コンプトン散乱による研究を進めていることが述べられました。次に、コンプトン散乱のインパルス近似による原理とその特徴が示されました。研究成果として最初にLi過剰系正極材料の研究結果の報告がありました。差分コンプトンプロファイルと理論計算との比較から酸素とMnの電子軌道の状態の知見が得られたとのことでした。次に実電池を使った研究成果の報告がありました。充放電中の電子系の変化の可視化に成功していました。

セッションVI 利用トピックス2

セッションVIは、利用トピックス2として4件のユーザーからの研究発表がありました。まず、「COVID-19治療への応用を目指した高親和性ACE2の開発とその構造解析」と題した講演が大阪大学の有森貴夫氏(写真19)より行われました。皆さんの関心の高いCOVID-19(SARS-CoV-2)の研究でした。ウイルスが結合する人のACE2について説明があり、その結合を阻害することが感染を止めるのに有効だという説明がありました。CoV-2、ACE2、複合体の構造が昨年2月に海外グループから報告されていたとのことでした。研究の戦略として変異株にも有効な改変ACE2の説明がありました。高親和性ACE2の開発、その治療効果、変異株への効果など多くの研究成果が示されました。その成果の一つとして、高親和性ACE2-RBD複合体のBL44XUを用いた構造解析の成果が報告されました。これが、国内第1号のSARS-CoV-2関連タンパク質の立体構造だったとのことでした。最後に、治療薬応用に向けた酵素活性を止めるという今後の課題の解決にも構造解析の結果が貢献することが示され、アミノ酸置換で酵素活性を止めた治療薬開発が進んでいるとのことでした。次に、名古屋工業大学の林好一氏(写真20)より、「SPring-8と超秩序構造



写真19 大阪大学 有森氏



写真20 名古屋工業大学 林氏



写真21 名古屋大学 水口氏



写真22 関西学院大学 藤原氏

科学」の講演がありました。最初に科研費学術変革領域研究(A)超秩序構造科学について、班構成、研究目的、内容についての全体的な説明がありました。超秩序構造を結晶・非晶質全ての「ボリューム」をもつ非周期秩序構造と定義し研究を進めているとのことでした。観測手法と理論、制御手法の開発による新しい学理の構築を目指していると発表がありました。ガラスの研究例やパーシステントホモロジー解析の説明がありました。林氏自身の研究として、ホログラフィーの有機物質への応用例の研究が紹介されました。さらに、タンパク質研究についてもPSIIタンパク質のホログラフィーの研究の現状が紹介されました。最後に、SPring-8で開発する装置の3種類を紹介し発表を終えられました。3件目は、名古屋大学の水口将輝氏(写真21)より、「ナノスケール実用スピンドバイス開発のための放射光利用」の発表がありました。導入としてスピントロニクス の原理や応用例について簡単な説明が行われ、スピントロニクスと磁石材料の両者の現在解決すべき課題が示されました。放射光のスピントロニクス材料の解析例としてXMCDの原理と結果が、磁石材料開発の放射光利用例として異常分散X線回折の結果が報告されました。スピントロニクス現象の解明に電界印可のホログラフィーの研究など、SPring-8の様々なBLを利用した幅広い研究が行われていることが紹介されました。後半では、SPRUCの分野融合型研究グループ「ナノデバイス科学」の体制、成果が示され、材料からデバイスまでの一貫した研究ができたとのことでした。セッション最後の講演として、「固液界面構造解明と可視化および溶液溶質相関～バックキャスト型分野融合研究を経て～」と題した講演が関西学院大学の藤原明比古氏(写真22)より行われました。SPRUCの分野融合の研究グループが進め

てきた研究を2期4年分まとめて報告すると最初に示されました。次に、SPRUC研究会とSPring-8の申請課題の関係、それらとSPRUC分野融合研究グループと「新分野創成利用課題」との関係を整理して説明されました。バックキャスト型の説明として、実用材料の課題である腐食やメッキを含めた固液界面を最初に取り上げ、その問題を解決するために、計測法についてもSPring-8の約半分のBLを利用する多くの計測法が必要となり、それらを解決するための研究組織を最後に構築したとのことでした。回折、散乱と分光の専門家を横糸に、材料・課題を有する企業研究者を縦糸とし、それに実材料観測の大学研究者と理論研究者を加えて組織を構築したとのことでした。最初の2年間で、実用と計測科学の間の分野融合が行われたことを年表と実例を使って丁寧に説明されました。その後の2年は課題解決と新分野創成に向けた研究が進められたと説明があり、鍍の形成過程の観測について発表がありました。メッキでも成果があるとのことですが、本シンポジウムの翌週の学会で発表されるとのことでした。最後に、プロジェクトの意義、波及効果として、手法、技術の課題の顕在化、新規の分野融合組織から研究会への定着化などが行えたとのことでした。今後の課題として、共通基盤と個別ノウハウの線引きや分野を融合する際のマッチングとそれを率いるリーダーシップなどが上げられました。

セッションVII SPRUC総会・YSA授賞式、受賞講演

SPRUC総会、Young Scientist Award (YSA) 授賞式、受賞講演が行われました。総会では、まず、木村会長による挨拶があり、続けて、行事、予算、研究会での活動状況についての報告がありました。最後に、



写真 23 受賞講演と受賞者

今後のSPRUCの活動予定が示されました。続いて、SPRUC2021 YSA 授賞式が行われました。冒頭、尾嶋正治選考委員長より、10名の応募があり、計2名を受賞者としたことと、それぞれの受賞理由の紹介がありました。今回は、SACLA関係の申請があったため、審査委員にSACLA-UCの米田会長にも審査に加わっていただいたとのことでした。授賞式の後、受賞者である高山裕貴氏と富田夏希氏による受賞講演が行われました(写真23)。高山氏は、「コヒーレントX線を用いたレンズレス時空間階層イメージング法の開発」について発表しました。大きな成果はCDIを時間分解測定に拡張したことです。BLは兵庫県BL24XUを利用し、空間分解能2次元10 nm、3次元40 nmを達成しています。独自の開発項目は構造変化の連続性を位相回復に取り込んだアルゴリズムを開発し、そのための装置開発を行ったことです。様々な形で装置の性能評価が示され、最後に今後の展開をまとめられました。富田氏は、「GeV光子ビームを用いたハドロン質量起源の探索」について発表しました。発表は、SPring-8ユーザーではそれほど多くない素粒子・原子核分野のため、質量の起源の簡単な説明から始められました。GeV領域のガンマ線を得るためにSPring-8の電子ビームに紫外レーザー光を当てたコンプトン散乱を利用していました。GeV領域では世界唯一の光源であるとのことでした。リング棟外に設置されたLEPS2実験棟について大型の検出器が入っているなど普段ほとんど見られないSPring-8サイト内の装置の説明がありました。検出器開発の説明と研究成果を簡単に触れ、発表をまとめられました。

セッションVIII クロージング

クロージングセッションでは、最初に理研石川センター長より総括がありました。対面からハイブリットになったことでなくなったものを注意する必要があるとの指摘がありました。産官学の役割がgivenなのか再定義できるのかは今後の議論が必要との意見がありました。パネルディスカッションでは、将来が分野によって異なるということが分かったとのことでした。2日目の講演では、分野が広がっていくことが良く分かったと同時に、広がりをもとめるべきかより広げるかを考えていく必要があるとのことでした。最

後に産業利用報告会と SPring-8 シンポジウム両者を見てまだまだカバーできていない部分があり、今後の議論を進めたいとまとめられました。次に、主催機関を代表して SPRUC 木村会長より閉会の挨拶がありました。会長自身の全体の感想が述べられ、バックキャストをキーワードに、手法開発、データサイエンス、人材育成に関する感想がシンポジウムの内容とリンクさせて述べられました。最後に参加者数が375名であったことの報告、および実行委員を始めとした関係者、参加者へのお礼の言葉がありました。

セッション IX ポスターセッション

クロージングセッションの後、REMO を使ったポスターセッションが行われました。SPRUC 研究会、共用 BL、理研・専用 BL、施設、パートナーユーザー、長期利用課題から合計 90 件を超えるポスターが掲示されました。フロアが細かく分かれているため、全体的には参加者があまり多くはなかったように感じられる部分もありました。また、今回はポスターセッションが一番最後にスケジュールされたため、参加者が減少した可能性もあります。発表の各部屋の賑わい方には大きな差が見られました。会合を活発に開いているような研究会や BL 再編に関係するポスターでは 8 席満席で議論が進められていました。ポスターセッションでは、サイエンスより、BL の現状や装置開発、計測技術に関する情報交換が多くを占めているように見られました。講演では聞けない細かい点をじっくり議論しているようでした。REMO の操作は、ホワイトボードにポスターを貼ることができる点など操作性が良く、Zoom の画面共有に比べるとずいぶん使いやすく感じられました。対面の場合のように、ふらつと立ち寄れるような気軽さはないものの、今回のポスターセッションでも、施設とユーザーの対話という重要な機会は持てたと思われまます。

会議のプログラムの詳細とアブストラクトは下記 Web ページにて公開されています。会議システムを利用して集計した参加者数は 480 名、ポスターセッションの参加者数は 263 名でした。

<http://www.spring8.or.jp/ja/science/meetings/2021/sp8sympo2021/>

SPring-8 シンポジウム 2021 プログラム

9月17日(金) <オンライン開催>

セッション I オープニング

座長：西堀 英治

(SPring-8 シンポジウム 2021 実行委員長、筑波大学)

13:00-13:05 **開会挨拶**

木村 昭夫 (SPRUC 会長、広島大学)

13:05-13:20 **挨拶**

小寺 秀俊 (理化学研究所 理事)

雨宮 慶幸 (高輝度光科学研究センター 理事長)

来賓挨拶

古田 裕志 (文部科学省 科学技術・学術政策局 研究開発基盤課長)

セッション II 施設報告

座長：大浦 正樹 (理化学研究所)

13:20-13:50 **近況と展望**

矢橋 牧名 (理化学研究所)

13:50-14:05 **利用制度について**

後藤 俊治 (高輝度光科学研究センター)

14:05-14:25 **回折散乱 BL 再編の現状**

坂田 修身 (高輝度光科学研究センター)

14:25-14:40 **SPring-8 データセンター構想**

城地 保昌 (理化学研究所)

セッション III SPring-8 の将来像

座長：木村 昭夫 (SPRUC 会長、広島大学)

15:00-15:15 **持続可能な社会実現に欠かせない SPring-8**

水木 純一郎 (関西学院大学)

15:15-15:30 **物質科学の発展に資する SPring-8 での計測の将来像**

唯 美津木 (名古屋大学)

15:30-15:45 **データサイエンスにおける SPring-8 の役割**

石井 真史 (物質・材料研究機構)

セッション IV パネルディスカッション

司会 (モデレータ)：木村 昭夫 (SPRUC 会長、広島大学)

15:50-17:30 **「SPring-8 将来像からのバックキャスト」**

パネリスト：雨宮 慶幸 (高輝度光科学研究センター)

石川 哲也 (理化学研究所)

矢橋 牧名 (理化学研究所)

石井 真史 (物質・材料研究機構)

水木 純一郎 (関西学院大学)

鈴木 宏輔 (群馬大学)

高山 裕貴 (兵庫県立大学)

富田 夏希 (大阪大学)

唯 美津木 (名古屋大学)

栗栖 源嗣 (大阪大学)

9月18日(土) <オンライン開催>

セッションV 利用トピックス1

座長: 河村 直己 (高輝度光科学研究センター)

9:30-9:50 **SPring-8 放射光 CT を用いたはやぶさ 2 サンプルの分析と準備**

土山 明 (立命館大学)

上梶 真之 (高輝度光科学研究センター)

松本 恵 (東北大学)

9:50-10:10 **高圧下その場における非晶質物質の動径分布関数測定**

河野 義生 (愛媛大学)

10:10-10:30 **衝撃圧縮による惑星物質の高密度原子配列の生成過程**

奥地 拓生 (京都大学)

10:30-10:50 **高エネルギーX線コンプトン散乱によるリチウム電池研究**

鈴木 宏輔 (群馬大学)

セッションVI 利用トピックス2

座長: 田中 義人 (兵庫県立大学)

10:55-11:15 **COVID-19 治療への応用を目指した高親和性 ACE2 の開発とその構造解析**

有森 貴夫 (大阪大学 蛋白質研究所)

11:15-11:35 **SPring-8 と超秩序構造科学**

林 好一 (名古屋工業大学)

11:35-11:55 **ナノスケール実用スピンドバイス開発のための放射光利用**

水口 将輝 (名古屋大学)

11:55-12:15 **固液界面構造解明と可視化および溶液溶質相関 ~バックキャスト型分野融合研究を経て~**

藤原 明比古 (関西学院大学)

セッションVII SPRUC 総会・YSA 授賞式、受賞講演

司会: 藤原 秀紀 (SPRUC 企画幹事、大阪大学)

13:00-13:20 **SPRUC 活動報告、2020 年度決算・2021 年度予算報告等**

13:20-13:30 **SPRUC2021 Young Scientist Award 授賞式**

13:30-13:45 **Young Scientist Award 受賞講演 1**

コヒーレント X 線を用いたレンズレス時空間階層イメージング法の開発

高山 裕貴 (兵庫県立大学)

13:45-14:00 **Young Scientist Award 受賞講演 2**

GeV 光子ビームを用いたハドロン質量起源の探索

富田 夏希 (大阪大学 核物理研究センター)

セッションVIII クロージング

座長: 田中 義人

(SPring-8 シンポジウム 2021PG 委員長、兵庫県立大学)

14:10-14:15 **総括**

石川 哲也 (理化学研究所 放射光科学研究センター長)

14:15-14:20 **閉会挨拶**

木村 昭夫 (SPRUC 会長、広島大学)

14:20-14:30 **ポスターセッションの参加方法説明**

(REMO Conference サイトへの接続方法と閲覧について)

セッションIX ポスターセッション

(REMO Conference サイト公開時間 9/18 9:30~17:00)

14:30-16:30 **SPRUC 研究会、共用 BL、理研・専用 BL、施設、パートナーユーザー、長期利用課題**

西堀 英治 NISHIBORI Eiji

筑波大学 数理物質系

〒305-8571 茨城県つくば市天王台 1-1-1

TEL: 029-853-6118

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

横谷 尚睦 YOKOYA Takayoshi

岡山大学 異分野基礎科学研究所

〒700-8530 岡山県岡山市北区津島中 3 丁目 1-1

TEL: 086-251-7897

e-mail: yokoya@cc.okayama-u.ac.jp

2022A 期 SPring-8 利用研究課題募集について

登録施設利用促進機関

公益財団法人高輝度光科学研究センター

2022A 期 SPring-8 利用研究課題の募集を開始しました。募集対象の課題種や申請の際の注意事項等の詳細につきましては、SPring-8 User Information HP 上の「現在募集中の SPring-8 利用研究課題」(<https://user.spring8.or.jp/?p=22799>) よりご確認ください。2022A 期に関しましても、新型コロナウイルス感染症によるビームタイムキャンセルの影響を軽減するための運用が適用されますので、必ず「2022A 期における利用研究課題及びビームタイムの運用について」(<https://user.spring8.or.jp/?p=38962>) もご確認ください。

- 2022A SPring-8 利用研究課題募集要項
- 2022A 生命科学／タンパク質結晶構造解析分野の課題の運用について
- 2022A SPring-8 における“SACLA、J-PARC MLF または「京」／「富岳」を含む HPCI と連携した利用を行う課題”の募集について
- 2022A 成果公開優先利用課題の募集について
応募締切：2021 年 11 月 18 日（木）午前 10:00 JST（提出完了時刻）
- 2022A 大学院生提案型課題（長期型）の募集について
応募締切：2021 年 12 月 1 日（水）午前 10:00 JST（提出完了時刻）
- 2022A 一般課題／一般課題（産業利用分野）の募集について
応募締切：2021 年 12 月 2 日（木）午前 10:00 JST（提出完了時刻）
- 2022A 大学院生提案型課題／大学院生提案型課題（産業利用分野）の募集について
応募締切：2021 年 12 月 2 日（木）午前 10:00 JST（提出完了時刻）

<特記>

1. 緊急課題、成果専有時期指定課題、測定代行課題および産業利用準備課題（測定代行課題および産業利用準備課題は一部共用ビームラインのみ対象）は、随時募集しています。
2. 2022A 期より、分科会が再編成されます。詳細は「2022A SPring-8 利用研究課題募集要項」(<https://user.spring8.or.jp/?p=34896>) にてご確認ください。
3. 2022A 期より新たに、大学院生提案型課題（長期型）の募集を開始しています。

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

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

申請にあたり、ご不明な点がございましたら下記までお問い合わせください。

[問い合わせ先] 〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
公益財団法人高輝度光科学研究センター 利用推進部 共用推進課
TEL : 0791-58-0961 FAX : 0791-58-0965
e-mail : sp8jasri@spring8.or.jp

第47回(2021B)SPring-8利用研究課題の採択について

登録施設利用促進機関

公益財団法人高輝度光科学研究センター
利用推進部

公益財団法人高輝度光科学研究センター(JASRI)では、SPring-8利用研究課題審査委員会(PCR)においてSPring-8の利用研究課題を審査した結果を受け、SPring-8選定委員会の意見を聴き、以下のように第47回共同利用期間(2021年9月29日~2022年2月7日(放射光利用270シフト、1シフト=8時間))における利用研究課題を採択しました。ただし、産業利用I、IIおよびIIIビームライン(BL19B2、BL14B2およびBL46XU)は2021Bを3期に分けて募集しており、これらのビームラインについては第1期の2021年9月29日~11月8日(114シフト)における課題を採択しました。表1に利用研究課題公募履歴を示します。

1. 募集、審査および採択の日程

[募集案内公開と応募締切]

- 2021年5月10日SPring-8ホームページで主要課題の募集案内公開
(利用者情報2021年春号に募集案内記事を掲載)
- 5月25日成果公開優先利用課題、長期利用課題応募締切
- 6月10日一般課題、大学院生提案型課題応募締切

[課題審査、選定、採択および通知]

- 2021年7月9日~19日
各分科会による課題審査(長期利用課題以外)
- 7月20日SPring-8利用研究課題審査委員会(PCR)による課題審査
- 8月2日SPring-8選定委員会の意見を聴取
- 8月2日JASRIとして採択決定し、応募者に審査結果を通知

2. 応募および採択状況

2021Bの新規応募課題数は914、採択課題数は615でした。表2に2021B期の利用研究課題の課題種別の応募課題数および採択課題数と採択率(%)を示します。また、表3に成果非専有課題としての科学審査

の対象となる課題(成果非専有一般課題、大学院生提案型課題、長期利用課題)への応募815件について、ビームラインごとの応募課題数、採択課題数、採択率および配分シフト数、並びに採択された課題の1課題あたりの平均配分シフト数を示します。表4には全応募914課題について、申請者の所属機関分類と課題の研究分野分類の統計を示します。このうち、所属機関および研究分野について全体に対する割合をそれぞれ図1および図2に示します。SPring-8における“SACLA、J-PARC MLFまたは「京」/「富岳」を含むHPCIと連携した利用を行う課題”として、SPring-8には9件の応募があり、うち2件が採択されました。なお本記事の統計には、産業利用ビームラインの第2期および第3期分、並びに期中に随時募集する成果専有時期指定課題(測定代行課題、産業利用準備課題含む)等は含まれていません。

3. 採択課題

2021B期の採択課題の一覧は、SPring-8ホームページに掲載しています。以下をご覧ください。

ホーム > 利用案内 > 研究課題 > 採択・実施課題一覧
<http://www.spring8.or.jp/ja/users/proposals/list/>

表 1 利用研究課題 公募履歴

利用期	利用期間	ユーザー 利用シフト*	応募締め切り**	応募課題数	採択課題数
第 1 回:1997B	1997 年 10 月-1998 年 03 月	168	1997 年 01 月 10 日	198	134
第 2 回:1998A	1998 年 04 月-1998 年 10 月	204	1998 年 01 月 06 日	305	229
第 3 回:1999A	1998 年 11 月-1999 年 06 月	250	1998 年 07 月 12 日	392	258
第 4 回:1999B	1999 年 09 月-1999 年 12 月	140	1999 年 06 月 19 日	431	246
第 5 回:2000A	2000 年 02 月-2000 年 06 月	204	1999 年 10 月 16 日	424	326
第 6 回:2000B	2000 年 10 月-2001 年 01 月	156	2000 年 06 月 17 日	582	380
第 7 回:2001A	2001 年 02 月-2001 年 06 月	238	2000 年 10 月 21 日	502	409
第 8 回:2001B	2001 年 09 月-2002 年 02 月	190	2001 年 05 月 26 日	619	457
第 9 回:2002A	2002 年 02 月-2002 年 07 月	226	2001 年 10 月 27 日	643	520
第 10 回:2002B	2002 年 09 月-2003 年 02 月	190	2002 年 06 月 03 日	751	472
第 11 回:2003A	2003 年 02 月-2003 年 07 月	228	2002 年 10 月 28 日	733	563
第 12 回:2003B	2003 年 09 月-2004 年 02 月	202	2003 年 06 月 16 日	938	621
第 13 回:2004A	2004 年 02 月-2004 年 07 月	211	2003 年 11 月 04 日	772	595
第 14 回:2004B	2004 年 09 月-2004 年 12 月	203	2004 年 06 月 09 日	886	562
第 15 回:2005A	2005 年 04 月-2005 年 08 月	188	2005 年 01 月 05 日	878	547
第 16 回:2005B	2005 年 09 月-2005 年 12 月	182	2005 年 06 月 07 日	973	624
第 17 回:2006A	2006 年 03 月-2006 年 07 月	220	2005 年 11 月 15 日	916	699
第 18 回:2006B	2006 年 09 月-2006 年 12 月	159	2006 年 05 月 25 日	867	555
第 19 回:2007A	2007 年 03 月-2007 年 07 月	246	2006 年 11 月 16 日	1099	761
第 20 回:2007B	2007 年 09 月-2008 年 02 月	216	2007 年 06 月 07 日	1007	721
第 21 回:2008A	2008 年 04 月-2008 年 07 月	225	2007 年 12 月 13 日	1009	749
第 22 回:2008B	2008 年 10 月-2009 年 03 月	189	2008 年 06 月 26 日	1163	659
第 23 回:2009A	2009 年 04 月-2009 年 07 月	195	2008 年 12 月 11 日	979	654
第 24 回:2009B	2009 年 10 月-2010 年 02 月	210	2009 年 06 月 25 日	1076	709
第 25 回:2010A	2010 年 04 月-2010 年 07 月	201	2009 年 12 月 17 日	919	665
第 26 回:2010B	2010 年 10 月-2011 年 02 月	210	2010 年 07 月 01 日	1022	728
第 27 回:2011A	2011 年 04 月-2011 年 07 月	215	2010 年 12 月 09 日	1024	731
第 28 回:2011B	2011 年 10 月-2012 年 02 月	195	2011 年 06 月 30 日	1077	724
第 29 回:2012A	2012 年 04 月-2012 年 07 月	201	2011 年 12 月 08 日	816	621
第 30 回:2012B	2012 年 10 月-2013 年 02 月	222	2012 年 06 月 28 日	965	757
第 31 回:2013A	2013 年 04 月-2013 年 07 月	186	2012 年 12 月 13 日	880	609
第 32 回:2013B	2013 年 10 月-2013 年 12 月	159	2013 年 06 月 20 日	905	594
第 33 回:2014A	2014 年 04 月-2014 年 07 月	177	2013 年 12 月 12 日	874	606
第 34 回:2014B	2014 年 10 月-2015 年 02 月	230	2014 年 06 月 19 日	1030	848
第 35 回:2015A	2015 年 04 月-2015 年 07 月	207	2014 年 12 月 11 日	1030	685
第 36 回:2015B	2015 年 09 月-2015 年 12 月	198	2015 年 06 月 11 日	974	632
第 37 回:2016A	2016 年 04 月-2016 年 07 月	216	2015 年 12 月 10 日	907	699
第 38 回:2016B	2016 年 09 月-2016 年 12 月	198	2016 年 06 月 02 日	977	637
第 39 回:2017A	2017 年 04 月-2017 年 07 月	210	2016 年 12 月 08 日	947	678
第 40 回:2017B	2017 年 10 月-2018 年 02 月	240	2017 年 06 月 08 日	1000	761
第 41 回:2018A	2018 年 04 月-2018 年 08 月	228	2017 年 12 月 07 日	931	719
第 42 回:2018B	2018 年 10 月-2019 年 02 月	234	2018 年 06 月 07 日	982	744
第 43 回:2019A	2019 年 04 月-2019 年 07 月	222	2018 年 12 月 06 日	957	681
第 44 回:2019B	2019 年 09 月-2020 年 02 月	234	2019 年 06 月 21 日	1011	729
第 45 回:2020A	2020 年 04 月-2021 年 02 月	336	2019 年 12 月 05 日	1460	1044
第 46 回:2021A	2021 年 04 月-2021 年 07 月	216	2020 年 12 月 08 日	838	687
第 47 回:2021B	2021 年 09 月-2022 年 02 月	216	2021 年 06 月 10 日	(914)	(615)

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

**一般課題の応募締め切り日

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

2007A 以降は、期終了時の値 (産業 2 期募集、生命科学等分科会留保課題、時期指定課題、緊急課題を含む) を示す。

2021B は今後、産業利用ビームラインの第 2・3 期分、期中随時募集の成果専有時期指定課題等があるため現在の値は括弧内に示す。

表2 2021B SPring-8 利用研究課題の課題種別応募および採択課題数と採択率

決定課題種	応募課題数	採択課題数	採択率 (%)	採択課題のシフト充足率 (%) ***
一般課題 (成果非専有) *	731	476	65.1	92.7
一般課題 (成果専有)	47	47	100.0	95.2
大学院生提案型課題	76	39	51.3	95.3
成果公開優先利用課題	52	50	96.2	95.1
長期利用課題	8	3	37.5	92.9
総計	914	615	67.3	93.2
科学審査対象課題*のみの合計	815	518	63.6	93.0

*一般課題等のうちSPring-8におけるSACLA, JPARC MLF または「京」/「高岳」を含むHPCIと連携した利用を行う課題は、SPring-8では応募9課題のうち2課題を採択。

**成果専有課題と優先利用課題を除いた課題。

***PX-BL 課題 (期中に配分シフトを決定する生命科学/タンパク質結晶構造解析分野関係課題) を除く。

表3 2021B ビームラインごとの審査対象課題*の採択状況

ビームライン	応募課題数計	採択課題数計	採択率 (%)	配分シフト数計**	1 課題あたり平均配分シフト**
BL01B1: XAFS	59	33	55.9	191	5.8
BL02B1: 単結晶構造解析	38	26	68.4	213	8.2
BL02B2: 粉末結晶構造解析	79	42	53.2	208	5.0
BL04B1: 高温高圧	32	20	62.5	216	10.8
BL04B2: 高エネルギーX線回折	38	21	55.3	188	9.0
BL05XU: 施設開発ID	3	2	66.7	12	6.0
BL08W: 高エネルギー非弾性散乱	27	13	48.1	216	16.6
BL09XU: HAXPES	30	15	50.0	162	10.8
BL10XU: 高圧構造物性	41	24	58.5	216	9.0
BL13XU: 表面界面構造解析	27	16	59.3	200	12.5
BL14B2: 産業利用 II	14	11	78.6	58	5.3
BL17SU: 理研 物理科学 III	7	5	71.4	54	10.8
BL19B2: 産業利用 I	9	9	100.0	37	4.1
BL19LXU: 理研 物理科学 II	4	3	75.0	51	17.0
BL20B2: 医学・イメージング I	31	24	77.4	197	8.2
BL20XU: 医学・イメージング II	23	13	56.5	104	8.0
BL25SU: 軟X線固体分光	24	18	75.0	189	10.5
BL26B1: 理研 構造ゲノム I***	4	4	100.0	28	7.0
BL26B2: 理研 構造ゲノム II***	-	-	-	-	-
BL27SU: 軟X線光化学	24	16	66.7	183	11.4
BL28B2: 白色X線回折	13	11	84.6	126	11.5
BL29XU: 理研 物理科学 I	-	-	-	-	-
BL32XU: 理研 ターゲットタンパク***	-	-	-	-	-
BL35XU: 非弾性・核共鳴散乱	24	14	58.3	216	15.4
BL36XU: 理研 物質科学 II	6	3	50.0	26	8.7
BL37XU: 分光分析	28	13	46.4	148	11.4
BL38B1: 理研 構造生物学 I***	-	-	-	-	-
BL39XU: 磁性材料	25	15	60.0	162	10.8
BL40B2: 構造生物学 II	46	34	73.9	204	6.0
BL40XU: 高フラックス	37	20	54.1	177	8.9
BL41XU: 構造生物学 I***	1	1	100.0	3	3.0
BL43IR: 赤外物性	23	21	91.3	216	10.3
BL43LXU: 理研 量子ナノダイナミクス	2	2	100.0	24	12.0
BL44B2: 理研 物質科学 I	-	-	-	-	-
BL45XU: 構造生物学 III***	1	1	100.0	8	8.0
BL46XU: 産業利用 III	15	7	46.7	60	8.6
BL47XU: マイクロCT	36	18	50.0	195	10.8
PX-BL (BL41XU, 45XU, 26B1, 26B2, 32XU, 38B1)	44	43	97.7	-	-
総計	815	518	63.6	4,288	8.3

*成果非専有一般課題、大学院生提案型課題、長期利用課題

**1 シフト=8 時間

***PX-BL 対象BL (PX-BL 運用以外の対象課題の課題数およびシフト数)

産業利用ビームラインの第2・3期募集分等は含まず。

表4 SPring-8 2021B 応募・採択結果の機関および研究分野分類

機関分類	課題分類		生命科学		医学応用		物質科学・材料科学		化学		地球・惑星科学		環境科学		産業利用		その他*		総計		採択率 (%)	
	決定課題種	課題数/シフト数	応募	採択	応募	採択	応募	採択	応募	採択	応募	採択	応募	採択	応募	採択	応募	採択	応募	採択		
大学等教育機関	一般課題 (非専有)	課題数	49	42	6	5	256	167	114	80	41	22	5	2	39	26	6	4	516	348	67.4	
		シフト数	198	128	51	39	2353	1539	827	594	501	243	36	18	256	168	83	57	4305	2786	64.7	
	大学院生提案型課題	課題数	3	2			45	18	10	7	3	2	2	1	7	5	2	2	72	37	51.4	
		シフト数	8	3			314	105	61	39	30	21	12	6	47	25	18	18	490	217	44.3	
	成果公開優先利用課題	課題数	2	1			11	10	13	13					9	9			35	33	94.3	
		シフト数	9	3			75	69	138	120					52	49			274	241	88.0	
	長期利用課題	課題数					2	0			3	3							5	3	60.0	
シフト数						51	0			84	78							135	78	57.8		
合計	課題数	54	45	6	5	314	195	137	100	47	27	7	3	55	40	8	6	628	421	67.0		
	シフト数	215	134	51	39	2793	1713	1026	753	615	342	48	24	355	242	101	75	5204	3322	63.8		
国立研究機関等	一般課題 (非専有)	課題数	11	11	6	3	54	32	9	5	9	5	5	3	11	6	10	6	115	71	61.7	
		シフト数	27	27	42	30	537	341	72	39	108	51	44	35	135	75	114	66	1079	664	61.5	
	一般課題 (専有)	課題数	2	2															2	2	100.0	
		シフト数																	0	0	-	
	成果公開優先利用課題	課題数	1	1	2	2	2	2											5	5	100.0	
		シフト数	27	27	15	12	21	21											63	60	95.2	
	長期利用課題	課題数					1	0											1	0	0.0	
シフト数						36	0											36	0	0.0		
合計	課題数	14	14	8	5	57	34	9	5	9	5	5	3	11	6	10	6	123	78	63.4		
	シフト数	54	54	57	42	594	362	72	39	108	51	44	35	135	75	114	66	1178	724	61.5		
産業界	一般課題 (非専有)	課題数					2	1							22	17			24	18	75.0	
		シフト数					21	12							247	166			268	178	66.4	
	一般課題 (専有)	課題数	6	6			2	2							36	36			44	44	100.0	
		シフト数					7	7							117	111			124	118	95.2	
	成果公開優先利用課題	課題数							6	6					6	6			12	12	100.0	
シフト数								108	108					57	57			165	165	100.0		
合計	課題数	6	6	0	0	4	3	6	6	0	0	0	0	64	59	0	0	80	74	92.5		
	シフト数	0	0	0	0	28	19	108	108	0	0	0	0	421	334	0	0	557	461	82.8		
海外機関	一般課題 (非専有)	課題数	9	8			40	18	13	8	7	2			6	2	1	1	76	39	51.3	
		シフト数	70	48			509	195	122	70	74	18			59	4	6	6	840	341	40.6	
	一般課題 (専有)	課題数	1	1															1	1	100.0	
		シフト数																	0	0	-	
	大学院生提案型課題	課題数					3	1										1	1	4	2	50.0
		シフト数					31	18										6	6	37	24	64.9
	長期利用課題	課題数									1	0			1	0			2	0	0.0	
シフト数										15	0			24	0			39	0	0.0		
合計	課題数	10	9	0	0	43	19	13	8	8	2	0	0	7	2	2	2	83	42	50.6		
	シフト数	70	48	0	0	540	213	122	70	89	18	0	0	83	4	12	12	916	365	39.8		
合計	課題数	84	74	14	10	418	251	165	119	64	34	12	6	137	107	20	14	914	615	67.3		
	シフト数	339	236	108	81	3955	2307	1328	970	812	411	92	59	994	655	227	153	7855	4872	62.0		
採択率 (%)	課題数	88.1		71.4		60.0		72.1		53.1		50.0		78.1		70.0		67.3				
	シフト数	69.6		75.0		58.3		73.0		50.6		64.1		65.9		67.4		62.0				

*ビームライン技術、素粒子・原子核科学、考古学、鑑識科学、安全管理

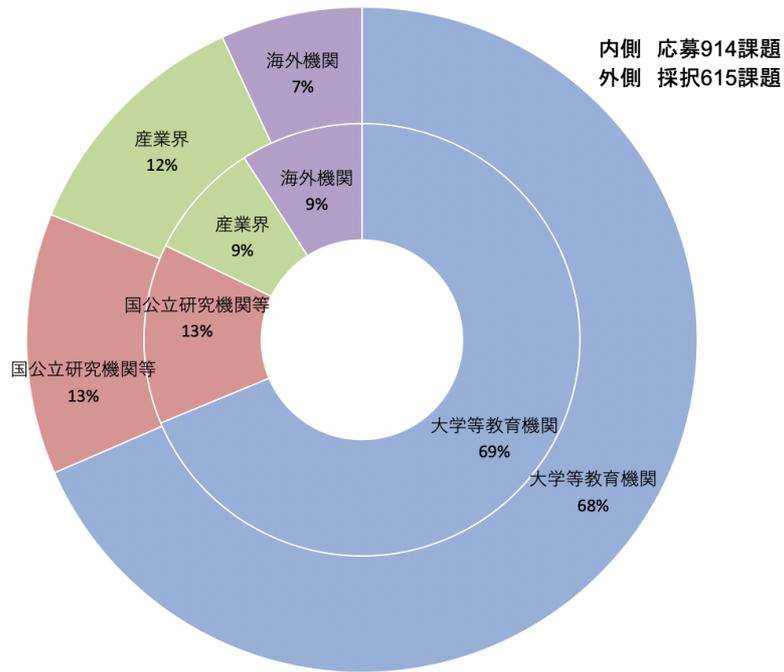


図1 2021B 所属機関別 応募/採択課題数割合

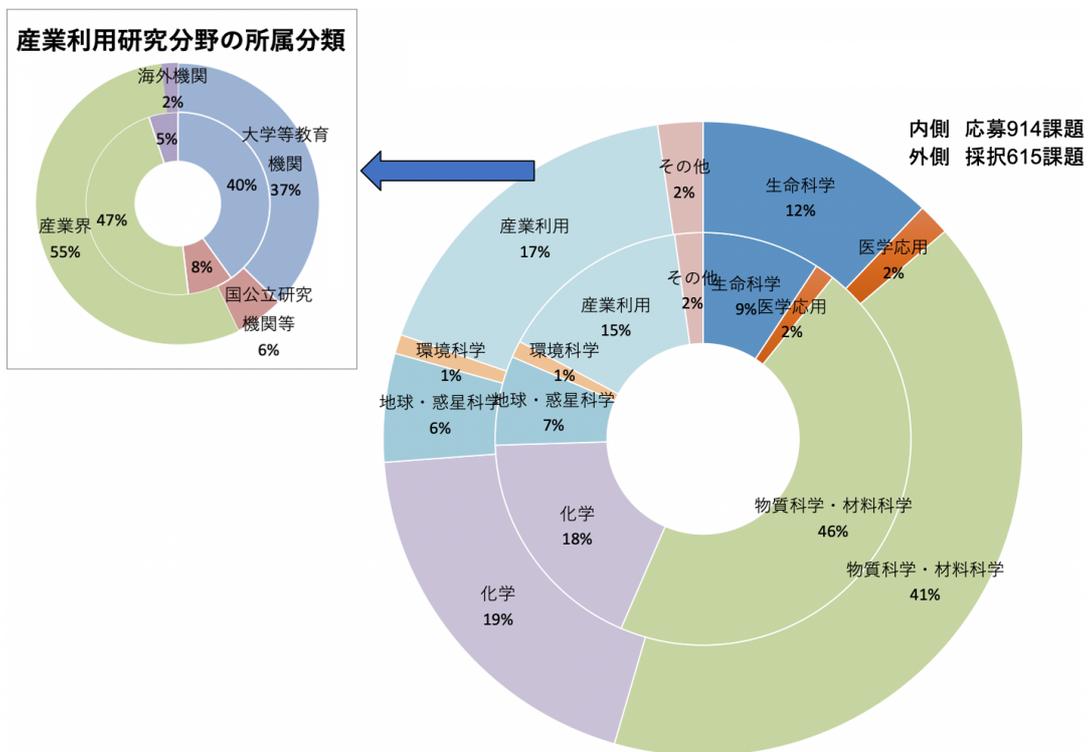


図2 2021B 研究分野別 応募/採択課題数割合

2021B 期 採択長期利用課題の紹介

公益財団法人高輝度光科学研究センター
利用推進部

2021B 期は 7 件の長期利用課題の応募があり、2 件が採択されました。採択された課題の審査結果および実験責任者による研究概要を以下に示します。

－ 採択課題 1 －

課題名	超高压下における鉄合金の特性とコアの軽元素組成の制約
実験責任者名 (所属)	廣瀬 敬 (東京工業大学)
採択時の課題番号	2021B0181
ビームライン	BL10XU
審査結果	採択する

[審査コメント]

本長期利用課題は、ダイヤモンドアンビル装置を用いた超高压高温実験により、地球コア（固体の内核と液体の外核）の主成分である鉄と主要な副成分の候補とされている軽元素（硫黄、珪素、酸素、炭素、水素）の合金の密度・地震波伝搬速度・状態図・元素分配をコアの圧力下で明らかにし、コアの軽元素組成を狭い範囲に制約することを目的としている。地球コアの軽元素組成の全容解明は、これまで 70 年近く謎とされてきた課題であり、その学術的意義は大きい。

本長期利用課題の 2 年間では、軽元素の候補のうち、最も有力とされる水素と酸素に絞って実験を行い、コアの水素、酸素量の制約を目指す計画が立てられている。これは、液体および固体鉄合金の密度、地震波速度、状態図、元素分配を高圧下で決定し、観測と比較することで本質的に解決可能な問題であるが、現在でも不明とされる理由は、コアの超高压・高温下での液体実験や水素を含む系の実験の難しさにある。本課題は、申請者らが開発した新手法を駆使してこの困難に挑むものであり、課題の学術的価値、手法の開拓ともに非常に高く評価される。申請者らのこれまでの実績を考慮すれば、本長期利用課題においても多くのインパクトある成果創出が期待できるだけでなく、開発される計測技術は広く高圧科学分野で活用されること

が期待できるものである。以上、本申請は「SPring-8 の特長を活かし、科学技術分野において傑出した成果を生み出す研究、新しい研究領域および研究手法となる研究、産業基盤技術を著しく向上させる研究などの一層の展開を図る」長期利用課題として推進すべきと評価し、採択する。

なお、SPring-8 には、研究費の獲得等により一定の評価を経た課題について、この評価結果を尊重して、科学技術的価値についての二重審査を行わず、研究手段としての SPring-8 の必要性、倫理性（平和目的限定等）、技術的可能性および安全性の審査だけで優先的に利用できる「成果公開優先利用課題」制度がある。申請者は科研費・特別推進研究（令和 3～7 年度）の代表者であることから、今後は成果公開優先利用課題の利用も是非検討していただきたい。

[実験責任者による研究概要]

本研究は、ダイヤモンドセルを用いた超高压高温実験により、「地球コアの化学組成（軽元素組成）」を狭い範囲に制約することを目的とする。1952 年に F. Birch によって、コアには鉄とニッケルに加え、多量の「軽元素」を含むことが明らかにされたものの、70 年近く経過した今でもその正体（候補は硫黄・ケイ素・酸素・炭素・水素）は不明とされ、地球科学の第一級の問題として残されている。

この問題は、鉄合金の密度・地震波伝播速度・状態図などと地震学的観測との比較から、本来解決可能な問題である。実際、5 つの軽元素の量を決めるのに、地震波観測と比較可能な特性は 5 つ、状態図・溶解度・元素分配からの制約が 3 つある。しかしながら現在でもコアの化学組成が不明とされる理由は、コアの超高

圧・高温下の実験が容易ではないこと、液体の実験が難しいこと、水素を含む系の高圧実験はハードルが高いことにある。

一方で、コアの軽元素組成を制約する意義は実に大きい。鉄合金の融解温度や物性は、軽元素組成に強く依存するため、「現在のコアの状態や熱史の理解」が大きく進む。コアの温度推定は、現状 1,000 度以上もの差がある。これはマントル深部の状態の理解にも大きな影響がある。鉄合金の熱伝導率も軽元素組成次第で倍以上の差が生まれる。これではコアの対流メカニズムを知ることも難しい。また、コアの質量は地球全体の 3 分の 1 もあり、コアの中で軽元素は原子比で 3 割にもなる。コアの軽元素が明らかになれば、地球全体の軽元素の量も初めて解明される。これにより、惑星形成時に、地球にどのような物質が集積したのか、太陽系の地球より外側からどれだけの水や有機物が、どのタイミングで輸送されてきたのか、といった「地球の起源」の理解も大きく進む。

本研究では、データが特に不足している鉄-水素合金を中心に、また水素と並んで、コアの観測を最もよく説明するとされる酸素にも注目しつつ、主にコアの圧力下で測定を行う。具体的には、液体・固体鉄合金それぞれの 1) 密度、2) 縦波速度、3) 状態図、さらには、4) 液体-固体鉄間の軽元素の分配と、5) 金属-シリケート間の軽元素の分配を決定する。これらの実験データとそれらを補完する理論計算によって、コア（外核・内核）の可能な軽元素組成を狭い範囲に制約する。

－ 採択課題 2 －

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
実験責任者名 (所属)	松本 恵 (東北大学)
採択時の課題番号	2021B0185 (BL20XU) 2021B0188 (BL47XU)
ビームライン	BL20XU、BL47XU (併用)
審査結果	採択する

[審査コメント]

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の初期分析およびそれに引き続く国際公募研究における詳細

分析の実施を目的としている。リュウグウ試料を調べることで、地球の水や有機物の起源や、惑星の成因の解明などにつながる非常に重要な成果が期待される。リュウグウ試料は多様性に特徴があり、多くの手段による分析が予定されているが、中でも本課題で実施される放射光 CT による非破壊三次元分析は、分析フローの最上流に位置づけられる極めて重要な分析とされている。具体的には、BL20XU では、同一試料に対し、投影型吸収 CT、X 線回折 CT、微分位相 CT の 3 つのモードで CT 撮影を行うことのできる統合 XCT 分析が計画されている。一方、BL47XU では、DET (Dual-Energy Tomography) -SIXM (Scanning-Imaging X-ray Microscopy) 法による有機物や流体包有物などのナノスケール分析を行い、その後の顕微分析につなげる計画となっている。これらの分析技術は、先行の長期利用課題 (2019A0165) によって開発され、技術的に確立されたもので、本長期利用課題実施の準備は十分にできていると考えられる。

学術的価値が極めて高く、社会的関心も高い小惑星回収試料を対象としており、傑出した成果の創出が期待されること、期間の定められた大型プロジェクトの一角を担う研究であることから、本研究は計画的、集中的に実施することが重要であり、長期利用課題として遂行されることが適切であると判断する。学術的成果ももちろんのこと、SPring-8 のプレゼンスの向上への貢献も期待するところが大きい。このように、研究の意義に関して高い評価が与えられる一方で、具体的な目標設定や研究計画には、検討の不十分さを指摘する審査コメントもあった。また、面接における資料の多くが、先行の長期利用課題の前倒し評価における資料と重複していたことにも疑問が挙げられた。未知の要素が非常に多い試料の分析であるため、実験結果のフィードバックにより新たな技術開発が必要になる可能性など、考えられる検討要素について、より丁寧な説明が望ましい。また、本長期利用課題の研究計画には、最初の 1 年間の初期分析の後、国際公募課題として採択されることを前提としている不確定要素がある。以上により、研究計画が目論見どおりにならなかった場合には、期間後半のシフト数について、見直しの余地を残した上で、本長期利用課題を採択とする。

[実験責任者による研究概要]

探査機「はやぶさ2」は、小惑星リュウグウへの2回の着地と試料採取に成功し、リュウグウ表層物質を地球へ送り届けた。リターンサンプルは、詳細な表面観測が行われた実際の小惑星の物質であり、小惑星の形成と進化、表面における宇宙風化プロセスの解明に繋がる様々な情報を秘めている。本研究では、リターンサンプルについて種々の放射光 X 線 CT 手法を組み合わせた非破壊3次元分析を行い、形状・空隙率・密度などの物性および鉱物や有機物の分布・微細組織・化学組成を明らかにする。それらを基に、サンプルが経験した加熱・衝撃・水-岩石相互作用を明らかにし、小惑星リュウグウの形成と進化、宇宙風化プロセスの解明を目指す。

リュウグウサンプルは、主に数十 μm -10 mm の粒子で含水鉱物や有機物を含み、構成物のサイズはサブミクロンから 100 μm 以上に渡る。このような多様性を持つリュウグウサンプルに対応するため、我々のグループでは CT 装置の開発や分析・解析プロトコルの開発など準備を進めてきた。これらに基づき、数 100 μm より大きい粒子は BL20XU、小さい粒子は BL47XU において、それぞれサンプルに適した分析を行う。

BL20XU には、共通のサンプルステージを使用し、同一のサンプルに対して、高エネルギー (> 30 keV) で異なる 2 つの視野・空間分解能を持つ投影型吸収 CT (大視野 CT: 画素サイズ 84 nm) と X 線回折 (XRD) -CT、および微分位相コントラスト CT を行う統合 CT システムが整備されている。また、高エネルギー結像 CT (30 keV、画素サイズ 50 nm) により、ミリサイズの試料を 200 nm 以下の分解能で観察する事も可能である。同ビームラインには高機能の窒素置換グローブボックスが導入済みで、先行課題で開発した大気遮断サンプルホルダと組み合わせて用いることで、リュウグウ粒子を大気に晒すことなく CT 分析を行うことができる。これにより、大きなサンプル粒子の3次元構造と、その情報を基にした関心領域の詳細3次元構造、関心鉱物相の空間分布および軽元素からなる包有物の分布を得る。

BL47XU には、低エネルギー (7-12 keV) で高空間分解能 (画素サイズ: 10-100 nm) を有する結像型吸

収 CT および走査-結像 X 線 CT (Scanning-Imaging X-ray Microscopy: SIXM) 装置が整備されている。結像型吸収 CT では、Fe の K 吸収端 (7.11 keV) を挟んだ 2 つのエネルギーで同一サンプルを撮影することにより、サンプル中に含まれる多数の鉱物の同定が可能である (Dual-Energy Tomography: DET)。一方、SIXM では、位相・吸収 CT 像が同時に取得可能である。位相コントラストは物質の密度にほぼ比例するため、吸収コントラストでは困難な軽元素からなる物質 (水や有機物) と空隙との区別も可能となっている。共通のサンプルステージを使用し、同一のサンプルに対して DET と SIXM を組み合わせることで、様々な鉱物や有機物 (あるいは水) の詳細3次元構造・空間分布情報、空隙率・密度などの物性値を得る。

本研究では、これら BL20XU と BL47XU を組み合わせ幅広いスケールで分析を行うことで、小惑星リュウグウの形成と進化に迫る。例えば、大きなサンプルの衝撃圧縮・破碎組織の分析によりラブルパイル天体形成プロセスの解明を目指す。また、含水鉱物・有機物の微細な共存組織の分析により初期太陽系の鉱物、水、有機物相互関係の解明を目指す。小惑星の水は、鉱物内に流体包有物 (液体) として保存されている場合もある。SIXM でそのような水を見出すことができれば、集束イオンビーム装置で抽出して、顕微鏡による成分分析 (CO_2 、 H_2O など) を行い、リュウグウの集積形成領域を限定することも可能である。さらに、個々のリュウグウ粒子の熱履歴を調べることで、リュウグウの加熱が天体スケールで均一に起こったのか、または不均一に加熱されたのか、小惑星リュウグウの熱史の解明を目指す。探査機は、2回のサンプル採取で、それぞれ小惑星表面と内部の物質を回収したと考えられおり、これらの試料の3次元形状や表面構造の比較から、小惑星表面の宇宙風化作用の解明にも取り組む。

第46回共同利用期間（2021A）において実施された SPring-8 利用研究課題

登録施設利用促進機関

公益財団法人高輝度光科学研究センター
利用推進部

第46回共同利用期間(2021A)におけるSPring-8の共同利用は、2021年4月から7月にかけて実施されました。この期間の放射光利用は、ビームライン1本あたり270シフト [1シフト=8時間] でした。

2021Aでは26本の共用ビームライン(共用施設)と、10本の理研ビームラインにおけるビームタイムの一部が共用に供されました(但し、BL09XUは募集なし)。産業利用に特化した3本の共用ビームラインBL14B2、BL19B2およびBL46XUは、2021A第1期(2021年4月～5月下旬)、第2期(同年5月下旬～7月上旬)および第3期(同年7月上旬～下旬)と、利用期を3期に分けて課題募集・選定が行われました。専用ビームライン(専用施設)については、2021A期の稼働数は前期より引き続き18本でした。

表1に、SPring-8共用施設の2021A課題種別の課題数と実施シフト数を示します。表2に、SPring-8専用施設の2021A実施課題数とシフト数を示します。表3に、2021AにSPring-8共用施設で実施された利用研究課題の課題数とシフト数について実験責任者の所属機関分類および研究分野分類を示します。表4に、1997B-2021A課題種別実施課題数の推移を示します。

表2 SPring-8専用施設の2021A実施課題数とシフト数

課題種	実施課題数合計	実施シフト数合計
専用ビームライン(成果非専有)	209	2915.5
専用ビームライン(成果専有)	32	104.125
合計	241	3019.625

表1 SPring-8共用施設^(注1)の2021A課題種別の課題数と実施シフト数^(注4)

課題種	応募課題数	採択課題数	課題採択率(%)	採択課題の実施数	非応募課題 ^(注2) の実施数	実施課題数合計	実施シフト数合計
一般課題(成果非専有)	614	493	80.3	449	21	470	3743.25
一般課題(成果専有)	34	33	97.1	27	9	36	150.75
大学院生提案型課題	64	46	71.9	43		43	301.125
時期指定課題	14	14	100.0	14		14	29.5
測定代行課題 ^(注3)	42	42	100.0	42		42	16.125
産業利用準備課題	6	6	100.0	6		6	1.375
成果公開優先利用課題	55	53	96.4	52		52	413
長期利用課題	(2021A期は新規公募なし)				10	10	212.125
重点パートナーユーザー課題					5	5	206.125
合計	829	687	82.9	633	45	678	5073.375

(注1) 理研ビームラインからの一部共用供出ビームタイムの利用を含む。

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

(注3) BL14B2、BL19B2、BL46XUで実施。

(注4) 新分野開拓利用課題不採択(1グループ、9課題)は含まず。

表3 2021AにSPring-8共用施設^(注1)で実施された利用研究課題の所属機関分類および研究分野分類

機関分類	課題分類	課題数/ シフト数	研究分野							計	
			生命科学	医学応用	物質科学・ 材料科学	化学	地球・惑星 科学	環境科学	産業利用		その他 ^(注2)
大学 等 教育 機関	一般課題（成果非専有）	課題数	54	4	143	82	26	2	44	5	360
		シフト数	276	27	1288.125	542.25	260.125	9	300.875	47.875	2751.25
	一般課題（成果専有）	課題数							1		1
		シフト数							3		3
	大学院生提案型課題	課題数	1		19	7	1		12	2	42
		シフト数	3		137.125	48	9		74	18	289.125
	測定代行課題	課題数							6		6
		シフト数							1.5		1.5
	成果公開優先利用課題	課題数			2	12	2		12		28
		シフト数			21	103.25	9		49.625		182.875
長期利用課題	課題数	2		2	1	4			1	10	
	シフト数	45		51	11.25	83.875			21	212.125	
重点パートナーユーザ 課題	課題数			2	1	2				5	
	シフト数			80.125	42	84				206.125	
計	課題数	57	4	168	103	35	2	75	8	452	
	シフト数	324	27	1577.375	746.75	446	9	429	86.875	3646	
国 立 研 究 機 関 等	一般課題（成果非専有）	課題数	12	1	30	6	3		7	6	65
		シフト数	122.625	3	297	48	41.75		55	68.625	636
	一般課題（成果専有）	課題数	1								1
		シフト数	8								8
	測定代行課題	課題数							1		1
		シフト数							0.25		0.25
	成果公開優先利用課題	課題数	2	1	3	1			1		8
		シフト数	33	3	44.875	6			3		89.875
	計	課題数	15	2	33	7	3		9	6	75
		シフト数	163.625	6	341.875	54	41.75		58.25	68.625	734.125
産 業 界	一般課題（成果非専有）	課題数							18		18
		シフト数							132.375		132.375
	一般課題（成果専有）	課題数	6		2				23		31
		シフト数	22.5		15				58.5		96
	時期指定課題	課題数				3			9		12
		シフト数				12			15.5		27.5
	測定代行課題	課題数							30		30
		シフト数							12.625		12.625
	産業利用準備課題	課題数							6		6
		シフト数							1.375		1.375
成果公開優先利用課題	課題数			2	6			8		16	
	シフト数			6	89.25			45		140.25	
計	課題数	6		4	9			94		113	
	シフト数	22.5		21	101.25			265.375		410.125	
海 外 機 関	一般課題（成果非専有）	課題数	7		11	6	2		1		27
		シフト数	44.375		102.625	57	17.625		2		223.625
	一般課題（成果専有）	課題数	2						1		3
		シフト数	35.75						8		43.75
	大学院生提案型課題	課題数							1		1
		シフト数							12		12
	時期指定課題	課題数	2								2
		シフト数	2								2
	測定代行課題	課題数							5		5
		シフト数							1.75		1.75
計	課題数	11		11	6	2		8		38	
	シフト数	82.125		102.625	57	17.625		23.75		283.125	
課題数合計			89	6	216	125	40	2	186	14	678
シフト数合計			592.25	33	2042.875	959	505.375	9	776.375	155.5	5073.375

(注1) 理研ビームラインからの一部共用供出ビームタイムの利用を含む。

(注2) 素粒子・原子核科学、考古学、ビームライン技術他。

2021A の延べ利用者数は、共用施設 4,156 人、専用施設 1,877 人でした。表 5 に、SPring-8 共用施設および専用施設利用実績の推移を示します。表 5 の値を利用シフト数合計と共に示したものが図 1 です。利用シフト数合計は、表 5 の「利用時間」に利用した共用・専用ビームラインの数（理研ビームラインの一部共用への供出分を含む。但し、理研ビームラインは共用供出割合で換算）を掛けた数値となっています。図 2 には、SPring-8 共用施設の利用研究課題の応募・採

択数の推移実績を採択率と共に示します。応募・採択課題数は、2006B 以前は一般課題締め切り時、2007A 以降は期の途中で申請・採択される成果専有時期指定課題、測定代行課題および産業利用ビームラインの第 2 期および第 3 期申請分を含めた、期の終わりの値を示します。利用シフト数合計は、上記と同様に表 5 の「利用時間」に利用した共用ビームラインの数を掛けた数値となっています。

表 4 SPring-8 1997B-2021A 課題種別実施課題数の推移

課題種	1997B~2012B	2013A	2013B	2014A	2014B	2015A	2015B	2016A	2016B	2017A	2017B	2018A	2018B	2019A	2019B	2020A	2021A	合計
一般課題 (成果非専有)	11582	440	384	444	611	457	476	489	459	502	570	524	537	507	563	661	470	19676
緊急課題	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	39
一般課題 (成果専有)	667	34	55	34	55	36	37	42	47	35	48	41	46	38	52	88	36	1391
時期指定課題 (除く測定代行)	200	6	4	4	2	8	8	6	10	7	16	6	16	8	20	17	14	352
測定代行 (時期指定課題の一環)	287	49	47	41	54	37	46	32	48	29	46	37	60	29	40	65	42	989
産業利用準備課題														3	10	5	6	24
長期利用課題	240	14	16	13	13	26	23	28	25	28	25	13	14	15	14	11	10	528
被災量子ビーム施設ユーザー支援課題	94																	94
大学院生提案型課題 (旧名称：萌芽的研究支援課題 [~2015B])	337	27	32	38	58	45	54	65	52	29	53	53	58	41	52	53	43	1090
成果公開優先利用課題	365	18	27	24	30	18	28	35	37	39	52	34	43	33	33	53	52	921
重点タンパク 500 課題 (タンパク 3000)	489																	489
重点ナノテクノロジー支援課題	928																	928
重点産業トライアルユース課題	112																	112
SPring-8 戦略活用プログラム課題	332																	332
重点産業利用課題	1000																	1000
重点産業化促進課題	32	13	13															58
産業新分野支援課題				10	14	12	14	11	4	6	4							75
放射光施設構所産業利用課題												5	3	6	4			18
先進技術活用による産業応用課題														5	4	8		17
重点メディカルバイオ・トライアルユース課題	57																	57
重点拡張メディカルバイオ課題	51																	51
重点グリーン/ライフ・イノベーション推進課題	77	24	24															125
スマート放射光活用イノベーション戦略推進課題				12	17	18	14											61
社会・文化利用課題						11	16	17	19	19	14	14	13					123
重点戦略課題 (12 条戦略課題)	63	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65
重点パワーユーザー課題	111	7	7	1	1													127
重点パートナーユーザー課題				3	3	6	6	7	7	8	8	7	7	8	8	11	5	94
新分野創成利用課題							4	6	11	16	21	21	25	24	9	8	0	145
合計	17059	633	610	624	858	674	726	738	719	718	857	755	822	717	809	984	678	28981

備考 長期利用課題は BL ごとに 1 課題としてカウント。
空白は制度なし。

実施課題の課題名をホームページの以下の URL で
公開しています。成果専有課題は「公表用課題名」
が表示されています。

<http://www.spring8.or.jp/ja/users/proposals/list/>
成果非専有課題の利用課題実験報告書 (SPring-8

Experiment Summary Report) は以下の URL で閲
覧できます。

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

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

表 5 SPring-8 共用施設および専用施設利用実績の推移

利用期間	利用時間	共用施設		専用施設			
		実施課題数	延べ利用者数	実施課題数	延べ利用者数		
第 1 回	1997B	1997 年 10 月-1998 年 03 月	1,286	94	681	-	-
第 2 回	1998A	1998 年 04 月-1998 年 10 月	1,702	234	1,252	7	-
第 3 回	1999A	1998 年 11 月-1999 年 06 月	2,585	274	1,542	33	467
第 4 回	1999B	1999 年 09 月-1999 年 12 月	1,371	242	1,631	65	427
第 5 回	2000A	2000 年 02 月-2000 年 06 月	2,051	365	2,486	100	794
第 6 回	2000B	2000 年 10 月-2001 年 01 月	1,522	383	2,370	88	620
第 7 回	2001A	2001 年 02 月-2001 年 06 月	2,313	474	2,915	102	766
第 8 回	2001B	2001 年 09 月-2002 年 02 月	1,867	488	3,277	114	977
第 9 回	2002A	2002 年 02 月-2002 年 07 月	2,093	545	3,246	110	1,043
第 10 回	2002B	2002 年 09 月-2003 年 02 月	1,867	540	3,508	142	1,046
第 11 回	2003A	2003 年 02 月-2003 年 07 月	2,246	634	3,777	164	1,347
第 12 回	2003B	2003 年 09 月-2004 年 02 月	1,844	549	3,428	154	1,264
第 13 回	2004A	2004 年 02 月-2004 年 07 月	2,095	569	3,756	161	1,269
第 14 回	2004B	2004 年 09 月-2004 年 12 月	1,971	555	3,546	146	1,154
第 15 回	2005A	2005 年 04 月-2005 年 08 月	1,880	560	3,741	146	1,185
第 16 回	2005B	2005 年 09 月-2005 年 12 月	1,818	620	4,032	187	1,379
第 17 回	2006A	2006 年 03 月-2006 年 07 月	2,202	724	4,809	226	1,831
第 18 回	2006B	2006 年 09 月-2006 年 12 月	1,587	550	3,513	199	1,487
第 19 回	2007A	2007 年 03 月-2007 年 07 月	2,448	781	4,999	260	2,282
第 20 回	2007B	2007 年 09 月-2008 年 02 月	2,140	739	4,814	225	1,938
第 21 回	2008A	2008 年 04 月-2008 年 07 月	2,231	769	4,840	232	1,891
第 22 回	2008B	2008 年 10 月-2009 年 03 月	1,879	672	4,325	217	1,630
第 23 回	2009A	2009 年 04 月-2009 年 07 月	1,927	669	4,240	238	1,761
第 24 回	2009B	2009 年 10 月-2010 年 02 月	2,087	722	4,793	275	2,144
第 25 回	2010A	2010 年 04 月-2010 年 07 月	1,977	685	4,329	293	2,483
第 26 回	2010B	2010 年 10 月-2011 年 02 月	2,094	744	4,872	325	2,812
第 27 回	2011A	2011 年 04 月-2011 年 07 月	2,131	740	4,640	309	2,773
第 28 回	2011B	2011 年 10 月-2012 年 02 月	1,927	730	4,576	319	2,769
第 29 回	2012A	2012 年 04 月-2012 年 07 月	1,972	637	4,304	285	2,692
第 30 回	2012B	2012 年 10 月-2013 年 02 月	2,184	771	5,072	314	3,181
第 31 回	2013A	2013 年 04 月-2013 年 07 月	1,837	633	4,053	275	2,835
第 32 回	2013B	2013 年 10 月-2013 年 12 月	1,571	610	3,770	286	2,723
第 33 回	2014A	2014 年 04 月-2014 年 07 月	1,768	624	4,129	292	2,710
第 34 回	2014B	2014 年 10 月-2015 年 02 月	2,290	858	5,766	331	3,573
第 35 回	2015A	2015 年 04 月-2015 年 07 月	2,053	674	4,560	271	2,960
第 36 回	2015B	2015 年 09 月-2015 年 12 月	1,981	726	4,863	281	2,898
第 37 回	2016A	2016 年 04 月-2016 年 07 月	2,150	738	5,174	301	3,130
第 38 回	2016B	2016 年 09 月-2016 年 12 月	1,976	719	4,824	298	2,985
第 39 回	2017A	2017 年 04 月-2017 年 07 月	2,101	718	4,835	326	3,228
第 40 回	2017B	2017 年 10 月-2018 年 02 月	2,377	857	5,885	355	3,659
第 41 回	2018A	2018 年 04 月-2018 年 08 月	2,254	755	5,009	323	3,231
第 42 回	2018B	2018 年 10 月-2019 年 02 月	2,306	822	5,468	361	3,303
第 43 回	2019A	2019 年 04 月-2019 年 07 月	2,205	717	4,579	331	2,911
第 44 回	2019B	2019 年 09 月-2020 年 02 月	2,333	809	5,378	344	3,102
第 45 回	2020A	2020 年 04 月-2021 年 02 月	4,309	984	5,906	337	3,265
第 46 回	2021A	2021 年 04 月-2021 年 07 月	2,155	678	4,156	241	1,877
合 計			94,963	28,981	187,669	10,389	93,802

註：長期利用課題をビームラインごとに 1 課題とカウント (2008.7)。
共用施設には理研ビームライン等からの供出ビームタイムの利用者を含む。

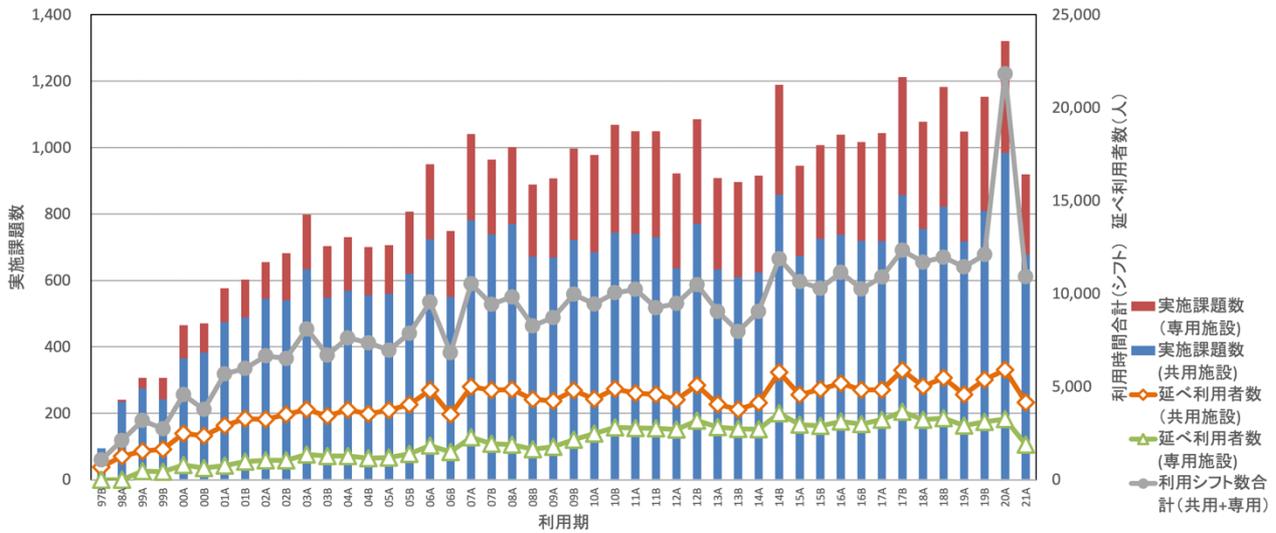


図1 SPring-8 共用施設および専用施設の利用実績の推移

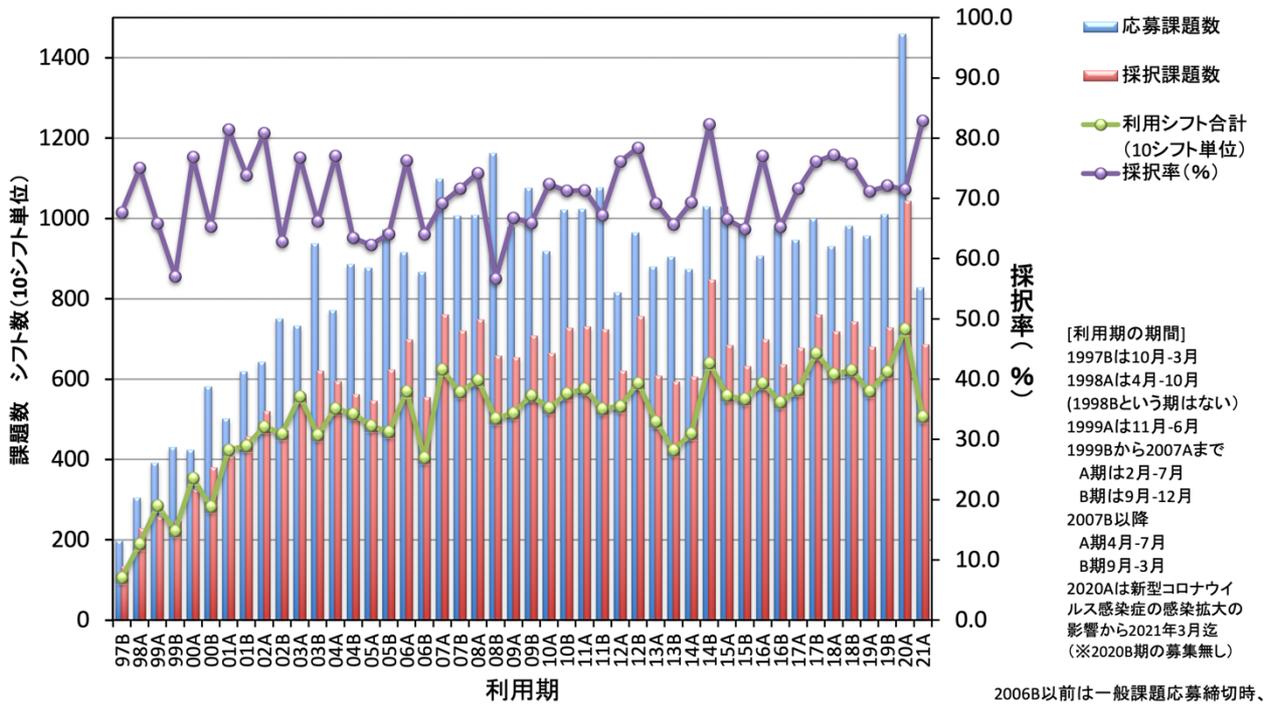


図2 SPring-8 共用施設の応募・採択課題数の推移実績

2016 年度指定パートナーユーザー事後評価報告

公益財団法人高輝度光科学研究センター
利用推進部

パートナーユーザー制度は、SPring-8 の共同利用ビームラインの更なる高度化および優れた成果の創出を推進するために、2014 年度より運用しています。パートナーユーザー（以下「PU」という）は、公募・審査を経て指定されます。

PU の事後評価は、PU 審査委員会において、あらかじめ提出された PU 活動終了報告書に基づいた PU による発表と質疑応答により行われます。事後評価の着目点は、PU としての (1) 目標達成度、(2) 活動成果（装置整備・高度化への協力、科学技術的価値および波及効果、ユーザー開拓および支援、情報発信）です。今回は、2016 年度指定の PU1 名（指定期間：2016 年 4 月 1 日から 2020 年 3 月 31 日まで）について、事後評価（2021 年 6 月 16 日開催）を行いました。

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

1. 佐々木 孝彦（東北大学）

(1) 実施内容

研究テーマ：強相関電子系分子性物質の赤外顕微イメージング分光による電荷ダイナミクスの研究

高度化：赤外ビームラインの整備と先導的活用

利用研究支援：当該装置を用いた利用実験の支援

(2) ビームライン：BL43IR

(3) 評価コメント

本 PU 課題は、BL43IR の赤外顕微ステーションと磁気光学ステーションの高度化および装置整備を行い、利用者支援と利用者開拓を行うとともに、申請者による強相関電子系分子性物質の研究を進展させることを目的として実施された。

赤外顕微ステーションに対しては、偏光子の光路挿入位置変更と回転機構の剛性化をはじめとする複数の高度化への協力を行い、微小試料について安定的に再現性のよい実験ができるようにした。磁気光学ステーションに対しては、長期的に稼働休止状態にあった本ステーションの再整備、調整、改良を行った。その結果、遠赤外から近赤外光領域でも実験に必要な光強度が得られるようになり、ユーザー利用が可能なレベルに整備を完了した。これらの高度化および整備は、ビームライン担当者と協力しつつ、申請者の有する技術や専門的知見を投入して達成されたものであり、高く評価される。

高度化に関連した利用実験の成果として、赤外顕微ステーションを利用した強相関電子系分子性物質の研究では、「電荷ガラス」状態の発見・解明、ダイマーモット/電荷秩序「量子臨界」の検証、 π - d 相互作用を伴う電子ドーピングされた電荷秩序状態、強相関電子系金属状態の乱れによるソフトギャップ絶縁体化について重要な研究成果が創出された。いずれも放射光赤外の局所顕微分光の特徴が生かされた利用実験による成果である。磁気光学ステーションについては、利用実験成果としての論文発表には至っていないが、黒燐のランダウ準位の観測など、ステーションの特徴を生かした研究成果が出始めており、今後の研究が期待される。

ユーザー支援および開拓に関して、支援数および新規ユーザーの獲得については大きな成果を出すには至らなかったものの、使用方法についての標準化やマニュアル整備などにより利用者が自律的に研究を行える環境を整備するなど、申請者の努力は十分に認められる。

結論として、ユーザー支援および開拓に関しては当初の予想を超えるものではなかったが、ビームラインの特徴を生かしたステーション整備と高度化を達成し、それを用いて分野を先導する研究成果を創出しており、PU 課題として十分評価される。

2018A 期 採択長期利用課題の事後評価について - 3 -

公益財団法人高輝度光科学研究センター
利用推進部

2018A 期に採択された長期利用課題について、2019B 期に 2 年間の実施期間が終了したことを受け、第 69、70 回 SPring-8 利用研究課題審査委員会長期利用分科会（2021 年 6 月 22 日、30 日開催）による事後評価が行われました。

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

なお、2018A 期に採択された長期利用課題 8 課題のうち 5 課題の評価結果は、「SPring-8/SACLA 利用者情報」Vol.26 No.2・No.3（2021 年春号・夏号）に掲載済みです。また残り 1 課題の評価結果は次号以降に掲載する予定です。

- 課題 1 -

課題名	メガバールケミストリーの推進
実験責任者(所属)	清水 克哉 (大阪大学)
採択時課題番号	2018A0149
ビームライン	BL10XU
利用期間/配分総シフト	2018A~2019B/96 シフト

[評価結果]

本長期利用課題は、申請者がこれまで SPring-8 において発展させてきた高圧力下の物質研究を土台として、超高圧物質科学における重要な研究課題である、①固体金属水素の探索、②それを実現するための超高圧発生、および、③高温超伝導の探索、を目的に実施されたものである。

残念ながら①について、固体水素の実験環境の確立には至らなかった。これは、水素の封入に困難があったためである。しかしながら、固体金属水素への挑戦に必要な開発要素（400 GPa 超の高圧発生や付帯す

る物性計測技術等）は、ほぼ完成しており今後の研究の進展を期待させるものであった。

②については、ダイヤモンドアンビル先端をトロイダル型形状にしたアンビルを作製して 400 GPa 超の圧力発生を達成した。また、このアンビルに電極プローブを挿入し、元素で最高の超伝導転移温度を持つカルシウムの超伝導を、350 GPa で計測することに成功しており、固体金属水素探索のための実験要素の確立という目標は達成されたと判断できる。

③については、より高い転移温度を持つ水素化物の探索のため、(1) H₂S から高温超伝導相 H₃S へ構造変化する過程の計測（放射光 X 線回折と電気抵抗との同時測定）、(2) ドーピングや元素置換、(3) 出発物質の選択を含めた他の合成手法の探索、(4) 他の元素の水素化物の合成、等を実施し、それぞれで成果を得ている。

以上のように本課題は、SPring-8 の高輝度アンジュレータ光と実験責任者のグループの持つ超高圧技術を最大限に活かし、高圧物性研究、特に高温超伝導探索への応用を進展させた点は十分に評価できる。固体金属水素の探索が未達に終わったことは残念であったが、着実に知見は積み上がっており、長期利用課題としての成果は十分にあったと認められる。今後の研究の進展に期待したい。

[成果リスト]

(査読付き論文)

[1] SPring-8 publication ID = 38445

D. Meng *et al.*: “Superconductivity of the Hydrogen-Rich Metal Hydride Li₅MoH₁₁ under High Pressure” *Physical Review B* **99** (2019) 024508.

[2] SPring-8 publication ID = 38952

H. Nakao *et al.*: “Superconductivity of Pure H₂S Synthesized from Elemental Sulfur and Hydrogen” *Journal of the Physical Society of Japan* **88** (2019) 123701.

[3] SPring-8 publication ID = 40603

M. Sakata *et al.*: “Superconductivity of Lanthanum Hydride Synthesized using AlH₃ as a Hydrogen Source ” *Superconductor Science and Technology* **33** (2020) 114004.

[2] SPring-8 publication ID = 41983

F. Schaff *et al.*: “Material Decomposition Using Spectral Propagation-Based Phase-Contrast X-Ray Imaging ” *IEEE Transactions on Medical Imaging* **39** (2020) 3891-3899.

－ 課題 2 －

課題名	Identifying mechanisms to improve newborn respiratory function using phase contrast X-ray imaging
実験責任者(所属)	Hooper Stuart (Hudson Institute/Monash University)
採択時課題番号	2018A0150
ビームライン	BL20B2
利用期間/配分総シフト	2018A～2019B/72 シフト

[3] SPring-8 publication ID = 41984

D. W. O’Connell *et al.*: “Photon-counting, Energy-resolving and Super-resolution Phase Contrast X-ray Imaging using an Integrating Detector.” *Optics Express* **28** (2020) 7080-7094.

[評価結果]

Original research purposes in this proposal are to develop phase contrast X-ray (PCX) imaging techniques to study lung aeration and then to identify mechanisms to improve newborn respiratory function. The researchers discovered a linear correlation between accurate lung air volume estimated from tomographic observations and the X-ray intensity transmitted through the chest. This correlation established in several animal species now provides a practical mean to measure regional inhomogeneity in lung air volume with high temporal resolution even during spontaneous breathing. Using the cross-disciplinary approach including PCX imaging, the researchers investigated the mechanisms that regulate spontaneous breathing, lung aeration, and laryngeal function during the transition from fetal to newborn life in premature newborns. Their achievements are reported as 17 peer-reviewed publications. The PCX imaging and analytical techniques which they developed through this proposal are expected to have an extensive effect on biomedical imaging field and resuscitation of very premature infants at birth. Overall, the committee judged the overall achievements of the proposal “Successful”.

[成果リスト]

(査読付き論文)

[1] SPring-8 publication ID = 41982

J. Dekker *et al.*: “Increasing Respiratory Effort With 100% Oxygen During Resuscitation of Preterm Rabbits at Birth” *Frontiers in Pediatrics* **7** (2019) 427.

2021A 期において実施された SACLA 利用研究課題（共用課題）について

登録施設利用促進機関

公益財団法人高輝度光科学研究センター
利用推進部

2012年3月より供用運転が開始された SACLA では、第 18 回目の利用期である 2021A 期の利用研究課題（共用課題）が、2021年3月1日から2021年7月29日にかけて実施されました。

この期間において、ビームライン BL1、BL2 または BL3 にて計 44 の利用研究課題が実施され、ビームタイムは計 247.5 シフト（1 シフト＝12 時間）が利用されました。

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

なお、これらのほか、同ビームラインにおいて JASRI スタッフによるインハウス課題が計 3 課題実施され、ビームタイムは計 21 シフトが利用されました。

実施課題の課題名は、以下の Web サイトに掲載しています。

◆ SACLA User Information

> SACLA 利用案内 > 採択課題／実施課題

> 実施課題一覧 > 2021A

http://sacla.xfel.jp/wp-content/uploads/sacla_performed_proposal_2021a_j.pdf

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

◆ SACLA User Information

> 成果等検索 > 利用課題実験報告書検索

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

成果は、課題実施期終了後 3 年以内に、査読付き原著論文等で公開されます。

公益財団法人

高輝度光科学研究センター 利用推進部

TEL：0791-58-0961

e-mail：sacla.jasri@spring8.or.jp

表 1 2021A 期 SACLA 利用研究実施課題

課題種		産業界		大学等教育機関		国公立試験研究機関等		海外機関		合計	
		実施課題数	実施シフト数	実施課題数	実施シフト数	実施課題数	実施シフト数	実施課題数	実施シフト数	実施課題数	実施シフト数
一般課題	(成果非専有利用)	1	4	16	84	12	74.583	15	84.917	44	247.5
	(成果専有利用)										
時期指定課題（成果専有利用）											
緊急課題											
合計		1	4	16	84	12	74.583	15	84.917	44	247.5

○実施課題を実験責任者の所属（産学官 海外）で区分。

○延べ利用者数は計 465 人。

SPring-8 運転・利用状況

国立研究開発法人理化学研究所
放射光科学研究センター

◎2021 年 5～7 月の運転実績

SPring-8 は 5 月 9 日から 7 月 9 日までセベラルバンチ運転で第 2 サイクルの運転を行い、7 月 12 日から 7 月 29 日までセベラルバンチ運転で第 3 サイクルの運転を実施した。第 2～3 サイクルでは四極電磁石補助電源トラッキングエラーによるビームアボート等があったが、全体としては順調な運転であった。総放射光利用運転時間（ユーザータイム）内での故障等による停止時間（down time）は、第 2 サイクルは約 0.2%、第 3 サイクルは約 0.3%であった。

1. 装置運転関係

(1) 運転期間

第 2 サイクル (5/9 (日) ～7/9 (金))

第 3 サイクル (7/12 (月) ～7/29 (木))

(2) 運転時間の内訳

第 2 サイクル

運転時間総計 約 1,465 時間

①装置の調整およびマシンスタディ等 約 121 時間

②放射光利用運転時間 約 1,340 時間

③故障等による down time 約 3 時間

④フィリング変更時間 約 1 時間

総放射光利用運転時間（ユーザータイム = ② + ③

+ ④）に対する down time の割合（*1）約 0.2%

第 3 サイクル

運転時間総計 約 481 時間

①装置の調整およびマシンスタディ等 約 169 時間

②放射光利用運転時間 約 311 時間

③故障等による down time 約 1 時間

④フィリング変更時間 0 分

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 0.3%

(3) 運転スペック等

第 2 サイクル（セベラルバンチ運転）

- ・ 11 bunch train × 29 (C)
- ・ 1/7 filling + 5 bunches (D)
- ・ 11 bunch train × 29 (C)
- ・ 203 bunches (A)
- ・ 406 × 11/29-bunches + 1 bunch (H)
- ・ 11 bunch train × 29 (C)
- ・ 1/7 filling + 5 bunches (D)
- ・ 203 bunches (A)

第 3 サイクル（セベラルバンチ運転）

- ・ 203 bunches (A)

- ・ 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

- ・ 四極電磁石補助電源トラッキングエラーによる電源 OFF（ビーム軌道変動によるアボート）
- ・ 瞬時電圧低下（落雷）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 2 サイクル (5/10 (月) ～7/9 (金))

第 3 サイクル (7/15 (木) ～7/28 (水))

(2) ビームライン利用状況

稼働ビームライン

共用ビームライン	26 本
専用ビームライン	17 本
理研ビームライン	13 本

第2サイクル (暫定値)

共同利用研究実験数	630 件
共同利用研究者数	2,587 名
専用施設利用研究実験数	357 件
専用施設利用研究者数	1,126 名

第3サイクル (暫定値)

共同利用研究実験数	166 件
共同利用研究者数	726 名
専用施設利用研究実験数	99 件
専用施設利用研究者数	360 名

◎2021年7～9月の運転実績 (停止期間)

SPring-8は7月30日から9月23日まで夏期点検調整期間とし、加速器やビームラインに係わる機器の改造・点検作業、電気・冷却設備等の機器の点検作業を行った。

7月31日は施設内全域の計画停電を行い、電気設備の点検整備を行った。

(夏期点検調整期間中の主な作業 (実績))

(1) 入射器関係 (XSBT 等)

- ・XSBT 四極電磁石電源外部 DCCT 入替作業
- ・XSBT 永久磁石型偏向磁石交換作業
- ・XSBT 偏向電磁石の遠隔通電化
- ・XSBT ステアリング電磁石磁気シールドコーティング作業
- ・XSBT スクリーンモニタ動作確認検査
- ・XSBT_BPM 関係回路交換
- ・その他作業及び定期点検等

(2) 蓄積リング関係

- ・RF エージング
- ・運転前連続通電作業
- ・電磁石、電磁石電源等定期点検
- ・DC セプトラム電磁石ホース交換及び点検、調査
- ・SR 六極電源制御更新試験
- ・真空系作業及び点検 (保守、メンテナンス等)
- ・SR_CRAB 交換作業 (セル 10、11、13、15)
- ・セル 48 真空関連機器移設作業
- ・機器保護インターロック自主検査
- ・クライストロン電源定期点検 (C、D-st)、高電圧試験

- ・クライストロン定期点検等
- ・低電力 RF 系保守作業
- ・モニター系定期点検、動作確認試験
- ・ID rf-BPM インターロック機器定期検査
- ・Beam based BPM Calibration 用六極電磁石ケーブル配線 (セル 30)
- ・データベース関連作業
- ・MTCA.4 ファームウェア更新
- ・加速器安全インターロックメンテナンス
- ・入退管理システムメンテナンス
- ・BL インターロック自主検査
- ・BL インターロックハードウェアメンテナンス
- ・BL インターロックシステム高度化
- ・ID 関連作業/ID25 関連作業
- ・FE 作業及び冷却系/圧空系保守作業
- ・FE 定期検査 (運転前・MBS 検査、駆動系検査)
- ・共用実験/制御ネットワーク関連作業
- ・BL 関連作業 (実験分電盤増設、ハッチ作業等)
- ・光学系・輸送チャンネル関係作業
- ・DCM・LN2 循環装置定期メンテナンス等
- ・その他作業及び定期点検等

(3) 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
- ・消防設備等点検 (防排煙、放送設備等)

(4) 安全管理関係

- ・運転停止後の残留サーベイ
- ・安全インターロック自主検査 (定期検査)
- ・特例区域設置
- ・放射線監視設備定期点検
- ・放射線モニタ更新工事

(5) その他

- ・線型加速器 (Li) エリア切り離しに伴う安全インターロック改修
- ・給水施設棟上水配管改修 (上水断水作業)
- ・瞬低保護装置設置作業
- ・空調機等間引き運転 (長期停止期間節電対策)
- ・施設建屋関連小工事等

◎2021 年 9～12 月の運転予定

SPring-8 は 9 月 24 日から 12 月 14 日までセベラルバンチ運転で第 4 サイクルの運転を予定している。

第 4 サイクルの運転実績については次号にて掲載する。

◎今後の予定

12 月 15 日から 1 月 13 日まで冬期点検調整期間とし、加速器やビームラインに係わる機器の改造・点検作業、電気・冷却設備等の機器の点検作業を行う予定である。

第 5 サイクルの運転開始は 1 月 14 日からを予定している。

(*1) down time の割合に④フィリング変更時間は含まない。

論文発表の現状

公益財団法人高輝度光科学研究センター 利用推進部

年別査読有り論文発表等登録数 (2021年9月30日現在)

SPring-8

Beamline Name		Public Use Since	~2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Total	
Public Beamlines	BL01B1	XAFS	1997.10	491	65	74	92	75	87	94	82	86	101	66	1313
		Technical Journal			1										1
	BL02B1	Single Crystal Structure Analysis	1997.10	152	18	36	42	36	44	40	30	47	49	35	529
	BL02B2	Powder Diffraction	1999.9	587	59	96	71	82	95	80	74	78	96	50	1368
	BL04B1	High Temperature and High Pressure Research	1997.10	196	16	20	19	16	16	15	16	19	13	6	352
	BL04B2	High Energy X-ray Diffraction	1999.9	217	28	28	33	38	43	30	42	39	59	15	572
		Technical Journal				1									1
	BL08W	High Energy Inelastic Scattering	1997.10	148	19	15	13	19	15	16	14	10	18	17	304
	BL09XU	HAXPES	1997.10	123	13	15	15	18	16	19	28	14	10	6	277
	BL10XU	High Pressure Research	1997.10	327	28	21	30	29	30	28	25	32	32	11	593
	BL13XU	Surface and Interface Structure	2001.9	166	6	16	21	24	36	27	32	33	29	17	407
	BL14B2	Engineering Science Research II	2007.9	75	36	53	53	61	53	58	67	81	86	51	674
		Technical Journal			1	1	1					1	2		6
	BL19B2	Engineering Science Research I	2001.11	178	53	59	63	66	64	69	60	57	56	49	774
		Technical Journal			1	1	1	2			2	1	1		9
	BL20B2	Medical and Imaging I	1999.9	206	35	28	25	35	26	28	32	28	39	17	499
	BL20XU	Medical and Imaging II	2001.9	164	21	40	45	44	37	34	31	43	31	23	513
	BL25SU	Soft X-ray Spectroscopy of Solid	1998.4	307	22	24	31	20	19	25	20	23	30	14	535
		Technical Journal			2										2
	BL27SU	Soft X-ray Photochemistry	1998.5	313	18	41	35	25	36	27	26	16	41	14	592
	BL28B2	White Beam X-ray Diffraction	1999.9	110	10	21	18	21	19	25	20	15	26	10	295
	BL35XU	Inelastic and Nuclear Resonant Scattering	2001.9	87	8	14	13	16	15	15	14	8	21	12	223
	BL37XU	Trace Element Analysis	2002.11	119	14	32	28	35	29	29	29	24	32	15	386
		Technical Journal					1								1
	BL38B1	Structural Biology III	2000.10	387	60	59	48	65	60	38	30	30	29	22	828
	BL39XU	Magnetic Materials	1997.10	192	21	20	25	19	24	30	20	19	29	14	413
	BL40B2	Structural Biology II	1999.9	379	44	70	55	55	60	54	55	62	49	47	930
		Technical Journal				1		1							2
	BL40XU	High Flux	2000.4	102	18	37	21	32	42	30	35	49	30	26	422
		Technical Journal										1			1
BL41XU	Structural Biology I	1997.10	684	53	65	55	60	68	58	52	39	43	21	1198	
BL43IR	Infrared Materials Science	2000.4	77	11	10	11	17	14	23	10	21	28	15	237	
BL46XU	Engineering Science Research III	2000.11	122	15	38	28	56	51	50	45	53	33	38	529	
	Technical Journal							1	1			1		3	
BL47XU	HAXPES・μCT	1997.10	258	17	36	36	31	29	37	28	33	33	15	553	
	Technical Journal								1					1	
Public Use at Other Beamlines	BL05XU	R&D-ID	2017.4								3	7	9	8	27
	BL11XU	QST Quantum Dynamics I	1999.3	13											13
	BL14B1	QST Quantum Dynamics II	1998.4	46	1		1								48
	BL15XU	WEBRAM	2002.9	33	1		1								35
	BL17SU	RIKEN Coherent Soft X-ray Spectroscopy	2005.9	15	6	11	12	5	2	3	5	8	6	2	75
	BL19LXU	RIKEN SR Physics	2002.9	5			1	1	2	5	7	2	2	1	26
	BL22XU	JAEA Actinide Science I	2004.9	5		1									6
	BL23SU	JAEA Actinide Science II	1998.6	46	2	3	2						1	1	55
	BL26B1	RIKEN Structural Genomics I	2009.4	3	8	2	9	6	15	15	23	29	32	19	161
	BL26B2	RIKEN Structural Genomics II	2009.4	1	5	3	5	7	11	8	9	8	6	1	64
		Technical Journal							1						1
	BL29XU	RIKEN Coherent X-ray Optics	2002.9	13			1	1	2	2	3				22
	BL32XU	RIKEN Targeted Proteins	2010.10	5	5	8	9	16	8	16	16	12	12	2	109
BL44B2	RIKEN Materials Science I	1998.5	14					6	5	2	6	4	1	38	
BL45XU	RIKEN Structural Biology I	1997.10	93	6	7	9	13	20	10	6	15	19	15	213	
Subtotal				6459	742	1003	976	1044	1094	1043	991	1046	1134	676	16208

Beamline Name		Public Use Since	~2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Total	
Contract Beamlines	BL03XU	Advanced Softmaterial	2009.11	6	8	24	21	14	17	23	9	19	19	7	167
		Technical Journal			35	42	39	36	33	31	28	28	34		306
	BL07LSU	The University-of-Tokyo Outstation Beamline for Materials Science	2009.11	6	6	10	13	12	19	19	15	21	12	8	141
	BL08B2	Hyogo BM	2005.9	2	3	7	9	5	6	11	5	7	10	4	69
		Technical Journal			7	1	18	7	4	4	1	3			45
	BL11XU	QST Quantum Dynamics I		82	13	16	14	8	20	20	15	19	13	14	234
	BL12B2	NSRRC BM	2001.9	144	25	22	21	29	38	34	36	33	16	4	402
	BL12XU	NSRRC ID	2003.2	56	14	11	18	19	18	25	20	24	23	5	233
	BL14B1	QST Quantum Dynamics II		127	11	10	15	19	17	23	20	19	20	17	298
	BL15XU	WEBRAM	2001.4	199	41	61	57	48	63	57	54	46	54	27	707
	BL16B2	SUNBEAM BM	1999.9	51	4	3	6	4	10	9	6	10	12	11	126
		Technical Journal		2	18	15	14	8	15	21	15	10	7	2	127
	BL16XU	SUNBEAM ID	1999.9	40	2	2	3	4	11	9	9	17	20	18	135
		Technical Journal			20	19	14	14	21	18	12	8	9	3	138
	BL22XU	JAEA Actinide Science I		71	10	14	19	15	14	15	26	23	16	15	238
	BL23SU	JAEA Actinide Science II		175	20	17	29	19	26	16	24	22	24	11	383
	BL24XU	Hyogo ID	1998.10	138	7	8	5	4	5	6	8	2	12	7	202
		Technical Journal			11	3	10	3	1	4		1	1		34
	BL28XU	Advanced Batteries	2012.4			3	9	5	5	6	4	8	11	6	57
		Technical Journal											1		1
BL31LEP	Laser-Electron Photon II	2013.10				1		3	2	1	2	2		11	
BL32B2	Pharmaceutical Industry (2002.9 - 2012.3)		27					1				1		29	
BL33LEP	Laser-Electron Photon	2000.10	47	4	4	4	2	2	3	5	2			73	
BL33XU	TOYOTA	2009.5	3	5	2	8	4	10	16	6	9	19	15	97	
	Technical Journal		2	5	4	5	3	4	1					24	
BL36XU	Catalytic Reaction Dynamics for Fuel Cell (2013.1 - 2020.3)				1	7	6	7	12	15	8	10	4	70	
BL44XU	Macromolecular Assemblies	2000.2	255	59	59	50	65	54	61	48	52	58	31	792	
Subtotal			1429	232	274	309	283	345	367	326	343	352	204	4464	

RIKEN Beamlines	BL17SU	Coherent Soft X-ray Spectroscopy		73	14	3	8	5	8	5		1	6	1	124
	BL19LXU	SR Physics		86	11	12	13	9	5	6	1	4	1	1	149
	BL26B1	Structural Genomics I		160	8	7	4	5	4	4	1		1		194
	BL26B2	Structural Genomics II		90	19	13	4	3	7	10	2	2	1		151
	BL29XU	Coherent X-ray Optics		164	16	15	9	10	15	9	8	4	7	2	259
	BL32XU	Targeted Proteins		2	9	8	8	7	13	4	3	1	2	2	59
	BL43LXU	Quantum NanoDynamics				1		1	1				2		5
	BL44B2	Materials Science I		218	13	19	16	20	16	18	14	10	2	2	348
	BL45XU	Structural Biology I		191	9	11	9	13	13	8	5	2	5	3	269
Subtotal			984	99	89	71	73	82	64	34	24	27	11	1558	

SACLA

Public Beamlines	Beamline Name		Public Use Since	~2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Total
	BL1	SXFEL	2016.3									7	5	9	5
BL2/BL3	XFEL2/XFEL1	2012.3		1	13	28	37	47	42	34	46	56	31	335	

Hardware / Software R & D	489	56	67	13	33	46	53	49	34	25	6	871
---------------------------	-----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	-----

NET Sum Total	8018	931	1202	1104	1195	1289	1268	1139	1193	1243	732	19314
Technical Journal	4	89	80	97	67	74	71	54	47	49	4	636

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ビームラインでカウントした。

共用・専用・理研の変更があった下記のビームラインについては、変更前のカテゴリに含めた。

BL32B2（現：理研BL R&D-BM）、BL36XU（現：RIKEN Materials Science II）、BL38B1（現：RIKEN Structural Biology I）、BL45XU（現：共用BL Structural Biology III）

このデータは論文発表等登録データベース（<https://user.spring8.or.jp/ui/search/publication2/>）に2021年9月30日までに登録されたデータに基づいており、今後変更される可能性があります。

・SPring-8 または SACLA での成果を論文等にする場合は必ずビームライン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 (2021年9月30日現在)

SPring-8

Beamline Name		Public Use Since	Refereed Papers	Proceedings	Other Publications	Total	
Public Beamlines	BL01B1	XAFS	1997.10	1314	66	90	1470
	BL02B1	Single Crystal Structure Analysis	1997.10	529	14	32	575
	BL02B2	Powder Diffraction	1999.9	1368	41	85	1494
	BL04B1	High Temperature and High Pressure Research	1997.10	352	7	48	407
	BL04B2	High Energy X-ray Diffraction	1999.9	573	13	59	645
	BL08W	High Energy Inelastic Scattering	1997.10	304	10	48	362
	BL09XU	HAXPES	1997.10	277	15	34	326
	BL10XU	High Pressure Research	1997.10	593	22	61	676
	BL13XU	Surface and Interface Structure	2001.9	407	19	38	464
	BL14B2	Engineering Science Research II	2007.9	680	11	38	729
	BL19B2	Engineering Science Research I	2001.11	783	47	93	923
	BL20B2	Medical and Imaging I	1999.9	499	90	89	678
	BL20XU	Medical and Imaging II	2001.9	513	106	151	770
	BL25SU	Soft X-ray Spectroscopy of Solid	1998.4	537	15	61	613
	BL27SU	Soft X-ray Photochemistry	1998.5	592	21	38	651
	BL28B2	White Beam X-ray Diffraction	1999.9	295	17	23	335
	BL35XU	Inelastic and Nuclear Resonant Scattering	2001.9	223	5	13	241
	BL37XU	Trace Element Analysis	2002.11	387	24	52	463
	BL38B1	Structural Biology III	2000.10	828	11	66	905
	BL39XU	Magnetic Materials	1997.10	413	17	81	511
	BL40B2	Structural Biology II	1999.9	932	15	118	1065
	BL40XU	High Flux	2000.4	423	24	70	517
	BL41XU	Structural Biology I	1997.10	1198	4	101	1303
	BL43R	Infrared Materials Science	2000.4	237	15	60	312
BL46XU	Engineering Science Research III	2000.11	532	20	42	594	
BL47XU	HAXPES・ μ CT	1997.10	554	93	131	778	
Public Use at Other Beamlines	BL05XU	R&D-ID	2017.4	27			27
	BL11XU	QST Quantum Dynamics I	1999.3	13	2	2	17
	BL14B1	QST Quantum Dynamics II	1998.4	48	1	11	60
	BL15XU	WEBRAM	2002.9	35	19	7	61
	BL17SU	RIKEN Coherent Soft X-ray Spectroscopy	2005.9	75	1	29	105
	BL19LXU	RIKEN SR Physics	2002.9	26		3	29
	BL22XU	JAEA Actinide Science I	2004.9	6			6
	BL23SU	JAEA Actinide Science II	1998.6	55	4	15	74
	BL26B1	RIKEN Structural Genomics I	2009.4	161		9	170
	BL26B2	RIKEN Structural Genomics II	2009.4	65		11	76
	BL29XU	RIKEN Coherent X-ray Optics	2002.9	22		1	23
	BL32XU	RIKEN Targeted Proteins	2010.10	109		5	114
	BL44B2	RIKEN Materials Science I	1998.5	38		3	41
BL45XU	RIKEN Structural Biology I	1997.10	213	5	20	238	
Subtotal			16236	774	1838	18848	

Beamline Name		Public Use Since	Refereed Papers	Proceedings	Other Publications	Total	
Contract Beamlines	BL03XU	Advanced Softmaterial	2009.11	473		14	487
	BL07LSU	The University-of-Tokyo Outstation Beamline for Materials Science	2009.11	141		11	152
	BL08B2	Hyogo BM	2005. 9	114			114
	BL11XU	QST Quantum Dynamics I		234	8	37	279
	BL12B2	NSRRC BM	2001. 9	402	1	2	405
	BL12XU	NSRRC ID	2003. 2	233	7	6	246
	BL14B1	QST Quantum Dynamics II		298	14	69	381
	BL15XU	WEBRAM	2001. 4	707	14	60	781
	BL16B2	SUNBEAM BM	1999. 9	253	12	75	340
	BL16XU	SUNBEAM ID	1999. 9	273	8	60	341
	BL22XU	JAEA Actinide Science I		238	4	43	285
	BL23SU	JAEA Actinide Science II		383	45	110	538
	BL24XU	Hyogo ID	1998.10	236	19	62	317
	BL28XU	Advanced Batteries	2012. 4	58			58
	BL31LEP	Laser-Electron Photon II	2013.10	11			11
	BL32B2	Pharmaceutical Industry (2002. 9 - 2012. 3)		29		3	32
	BL33LEP	Laser-Electron Photon	2000.10	73	23	3	99
	BL33XU	TOYOTA	2009. 5	121	5	35	161
	BL36XU	Catalytic Reaction Dynamics for Fuel Cell (2013. 1 - 2020. 3)		70		6	76
	BL44XU	Macromolecular Assemblies	2000. 2	792		44	836
Subtotal			5139	160	640	5939	
RIKEN Beamlines	BL17SU	Coherent Soft X-ray Spectroscopy		124	4	13	141
	BL19LXU	SR Physics		149	8	27	184
	BL26B1	Structural Genomics I		194	2	19	215
	BL26B2	Structural Genomics II		151	1	13	165
	BL29XU	Coherent X-ray Optics		259	14	37	310
	BL32XU	Targeted Proteins		59		4	63
	BL43LXU	Quantum NanoDynamics		5			5
	BL44B2	Materials Science I		348	2	16	366
	BL45XU	Structural Biology I		269	5	45	319
	Subtotal			1558	36	174	1768

SACLA

Public Beamlines	Beamline Name		Public Use Since	Refereed Papers	Proceedings	Other Publications	Total
	BL1	SXFEL	2016. 3	26			26
	BL2/BL3	XFEL2/XFEL1	2012. 3	335	4	15	354

Hardware / Software R & D	871	554	470	1895
---------------------------	-----	-----	-----	------

NET Sum Total	19950	1368	2417	23735
---------------	-------	------	------	-------

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

Proceedings : 査読なしのプロシーディング

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

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

複数ビームライン (BL) からの成果からなる論文等はそれぞれのビームラインでカウントした。

共用・専用・理研の変更があった下記のビームラインについては、変更前のカテゴリに含めた。

BL32B2 (現: 理研BL R&D-BM)、BL36XU (現: RIKEN Materials Science II)、BL38B1 (現: RIKEN Structural Biology I)、BL45XU (現: 共用BL Structural Biology III)

・SPring-8 または SACLA での成果を論文等にする場合は必ずビームライン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、2021 年 7 月～9 月に登録されたものを以下に紹介します。論文の情報 (主著者、巻、発行年、ページ、タイトル) に加え、データベースの登録番号 (研究成果番号) を掲載していますので、詳細は上記検索ページの検索結果画面でご覧いただくことができます。また実施された課題の情報 (課題番号、ビームライン、実験責任者名) も掲載しています。課題番号は最初の 4 文字が「year」、次の 1 文字が「term」、後ろの 4 文字が「proposal no.」となっていますので、この情報から以下の URL で公表している、各課題の英文利用報告書 (SPring-8 User Experiment Report) を探してご覧いただくことができます。

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

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

SPring-8 研究成果登録データベースに 2021 年 7 月～9 月に登録された論文が掲載された主な雑誌と掲載論文数

掲載雑誌	登録論文数	掲載雑誌	登録論文数
Journal of the Physical Society of Japan	7	Angewandte Chemie International Edition	5
Chemical Science	6	Japanese Journal of Applied Physics	5
Inorganic Chemistry	6	The Journal of Biological Chemistry B	5
Journal of Molecular Biology	6	Journal of Materials Chemistry A	5
Physical Review B	6	The Journal of Physical Chemistry C	5
ACS Applied Materials & Interfaces	5	Journal of Synchrotron Radiation	5
ACS Catalysis	5		

他全 154 誌、計 270 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

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
42069	Satoshi Tsutsui	90 (2021) 083701	2020A2024 2020A2078	BL09XU BL09XU	筒井 智嗣 筒井 智嗣	¹⁹⁹ Ir Synchrotron-Radiation-Based Mössbauer Spectroscopy for Ir Valence Disproportionation in $\text{CaSr}_3\text{O}_{12}$
42123	Kosuke Fujiwara	90 (2021) 084705	2017B3551 2018A1635 2018B1671 2019A1108 2019B1385	BL11XU BL09XU BL09XU BL09XU BL09XU	三井 隆也 藤原 孝将 藤原 孝将 三井 隆也 藤原 孝将	Quantum Interference of Totally Reflected Mössbauer γ -Rays from a ⁵⁷ Fe Monolayer Embedded in a Thin Film
42160	Taku Konishi	90 (2021) 094703	2017B1723 2012B1689	BL39XU BL39XU	小西 卓 上垣 伸	Depth-dependent Spin Polarizations Induced in Cu(001) and Cu(111) Layers of Co/Cu Multilayers Determined by Resonant X-ray Magnetic Scattering at the Cu K Absorption Edge
42181	Yosuke Goto	88 (2019) 024705	2015A0074	BL02B2	森吉 千佳子	Effect of Bi Substitution on Thermoelectric Properties of SbSe ₂ -based Layered Compounds $\text{NdO}_{0.8}\text{F}_{0.2}\text{Sb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{Se}_2$
42236	Kazuki Takaoka	90 (2021) 084703	2017B1172 2019A1304	BL02B2 BL01B1	高津 浩 高津 浩	Spin Frustration in Protonated Rutile Oxides
42305	Sofia Michaela Souliou	90 (2021) 111006	2019A1203 2019B1345	BL35XU BL35XU	Souliou Sofia Michaela Souliou Sofia Michaela	In-plane Isotropy of the Low Energy Phonon Anomalies in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+x}$
42430	Shinichi Nakamura	90 (2021) 104713	2019B3583 2020A3583	BL11XU BL11XU	中村 真一 中村 真一	Pure Nuclear Bragg Reflection due to Combined Magnetic and Quadrupole Interaction in Fe_3O_4

Chemical Science

42138	Yuto Suzuki	12 (2021) 9607-9618	2018B1244 2019A1161 2019B1134	BL40XU BL40XU BL40XU	久木 一朗 久木 一朗 久木 一朗	Construction of Isostructural Hydrogen-bonded Organic Frameworks: Limitations and Possibilities of Pore Expansion
42171	Yoshifumi Sasano	12 (2021) 9645-9657	2015A0114 2017A1322 2017B1443 2017B1504	BL40XU BL40XU BL40XU BL40XU	高谷 光 前田 大光 前田 大光 平田 剛輝	Ion-pairing π -electronic Systems: Ordered Arrangement and Noncovalent Interactions of Negatively Charged Porphyrins
42187	Mirai Ohara	12 (2021) 12383-12390	2019B1282	BL02B2	久保田 圭	A Vanadium-based Oxide-phosphate-pyrophosphate Framework as a 4 V Electrode Material for K-ion Batteries
42315	Kentaro Kadota	10 (2019) 6193-6198	2018A1336	BL02B2	堀毛 悟史	Borohydride-containing Coordination Polymers: Synthesis, Air Stability and Dehydrogenation
42323	Akira Nagai	12 (2021) 11585-11592	2016A1080 2016B1125 2018A1104 2018A1208 2018B1091 2018B1092 2018B1674 2019A1110 2019A1670 2019A1741	BL40B2 BL40B2 BL02B1 BL40XU BL02B1 BL40XU BL02B1 BL40XU BL02B1 BL02B1	内田 欣吾 内田 欣吾 内田 欣吾 内田 欣吾 内田 欣吾 内田 欣吾 西村 涼 内田 欣吾 西村 涼 西村 涼	Molecular Crystalline Capsules that Release Their Contents by Light
42325	Hiroto Takeda	12 (2021) 11045-11055	2018B1481 2019A1302 2019A1350	BL02B1 BL02B1 BL02B1	小島 達弘 吉成 信人 小島 達弘	A Mesoporous Ionic Solid with 272 $\text{Au}_6\text{Ag}_3\text{Cu}^{II}_3$ Complex Cations in a Super Huge Crystal Lattice

Inorganic Chemistry-1

42107	Marcera Calpa	60 (2021) 6964-6970	2018B1246	BL02B2	後藤 陽介	Formation Mechanism of β - Li_3PS_4 through Decomposition of Complexes
42110	Kazuki Nakanishi	60 (2021) 9970-9976	2019B1464 2019B1469 2019B1622	BL01B1 BL01B1 BL37XU	平山 純 山添 誠司 山添 誠司	Synthesis and Isolation of an Anionic Bis(dipyrido-annulated) N-Heterocyclic Carbene CCC-Pincer Iridium(III) Complex by Facile C-H Bond Activation
42148	Yuushi Shimoda	60 (2021) 7773-7784	2020A8015	BL3	足立 伸一	Determining Excited-State Structures and Photophysical Properties in Phenylphosphine Rhenium(I) Diimine Biscarbonyl Complexes Using Time-Resolved Infrared and X-ray Absorption Spectroscopies
42263	Vladimir A. Morozov	60 (2021) 9471-9483	2020A4501	BL15XU	Belik Alexei	$\text{KTb}(\text{MoO}_4)_2$ Green Phosphor with K^+ -Ion Conductivity: Derived from Different Synthesis Routes

Inorganic Chemistry-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
42286	Masanao Ishijima	60 (2021) 9432-9441	2020A1900	BL14B2	石島 政直	Theoretical and Experimental Evaluation of the Reduction Potential of Straight-Chain Alcohols for the Designed Synthesis of Bimetallic Nanostructures
42326	Sireenart Surinwong	60 (2021) 12555-12564	2017A1282	BL02B2	吉成 信人	Highly Porous Ionic Solids Consisting of Au ₅ Co ^{III} ₂ Complex Anions and Aqua Metal Cations
			2018A1476	BL02B1	吉成 信人	
			2020A1213	BL02B1	吉成 信人	

Physical Review B

42078	Kristoffer A. U. Holm	103 (2021) 224302	2014A0078	BL02B1	Iversen Bo	Anharmonicity and Correlated Dynamics of PbTe and PbS Studied by Single Crystal X-ray Scattering
42157	Shingo Yamamoto	104 (2021) 064405	2019A1534	BL25SU	山本 真吾	High-field Soft-X-ray Dichroism of a Hard Ferrimagnet with Easy-plane Anisotropy
			2019A2065	BL25SU	小谷 佳範	
42180	Ryo Matsumoto	100 (2019) 094528	2015A0074	BL02B2	森吉 千佳子	Pressure-induced Superconductivity in the Layered Prictogen Diselenide NdO _{0.8} F _{0.2} Sb _{1-x} Bi _x Se ₂ (x = 0.3 and 0.7)
			2018B1246	BL02B2	後藤 陽介	
42244	Masanori Inui	104 (2021) 064202	2018B1221	BL35XU	乾 雅祝	Longitudinal Acoustic and Higher-energy Excitations in the Liquid Phase-change Material Ge ₂ Sb ₂ Te ₅
			2019A1195	BL35XU	乾 雅祝	
			2013B1269	BL35XU	乾 雅祝	
42371	Josef Ketels	104 (2021) 075160	2016B1685	BL08W	Schmidbauer Josef	Momentum Density Spectroscopy of Pd: Comparison of 2D-ACAR and Compton Scattering using a 1D-to-2D Reconstruction Method
42378	Tatsuhiko Kanda	104 (2021) 115121	2019B1248	BL47XU	組頭 広志	Electronic Structure of SrTi _{1-x} V _x O ₃ Films Studied by <i>in situ</i> Photoemission Spectroscopy: Screening for a Transparent Electrode Material

ACS Applied Materials & Interfaces

42088	Sou Yasuhara	13 (2021) 34027-34032	2018B4906	BL15XU	安井 伸太郎	Suppression Mechanisms of the Solid-Electrolyte Interface Formation at the Triple-Phase Interfaces in Thin-Film Li-Ion Batteries
			2019A4900	BL15XU	安井 伸太郎	
			2017B4901	BL15XU	安井 伸太郎	
42108	F. A. Vásquez	13 (2021) 14056-14067	2019A1101	BL02B2	後藤 陽介	Kinetic Control of the Li _{0.9} Mn _{1.6} Ni _{0.4} O ₄ Spinel Structure with Enhanced Electrochemical Performance
42270	Takeshi Shimizu	13 (2021) 40612-40617	2019B3634	BL14B1	吉川 浩史	Application of μ -Nitrido- and μ -Carbido-Bridged Iron Phthalocyanine Dimers as Cathode-Active Materials for Rechargeable Batteries
			2020A1243	BL01B1	吉川 浩史	
			2020A3634	BL14B1	吉川 浩史	
42376	Kazuhiko Mukai	13 (2021) 42791-42802	2020A7037	BL33XU	宇山 健	Thermal Behavior of Li _{1+x} [Li _{1/3} Ti _{5/3}]O ₄ and a Proof of Concept for Sustainable Batteries
42445	Shu-Jui Chang	13 (2021) 29212-29221	2018A4264	BL12XU	Tseng Yuan-Chieh	Visualizing Ferroelectric Uniformity of Hf _{1-x} Zr _x O ₂ Films Using X-ray Mapping

ACS Catalysis

42122	Hikaru Abe	11 (2021) 6390-6397	2020A1360	BL01B1	吉田 真明	Selective Catalyst for Oxygen Evolution in Neutral Brine Electrolysis: An Oxygen-Deficient Manganese Oxide Film
42199	Fuma Ando	11 (2021) 9317-9332	2018B1682	BL47XU	安藤 風馬	Enhancement of the Oxygen Reduction Reaction Activity of Pt by Tuning Its α -Band Center via Transition Metal Oxide Support Interactions
42281	Hiroshi Yoshida	11 (2021) 7302-7309	2020A1834	BL14B2	芳田 嘉志	Enhanced Catalytic NO Reduction in NO-CO-C ₃ H ₆ -O ₂ Reaction Using Pseudo-Spinel (NiCu)Al ₂ O ₄ Supported on γ -Al ₂ O ₃
42370	Shotaro Matsuda	11 (2021) 10502-10507	2020A0672	BL01B1	増田 晋也	Synergistic Effect in Ir- or Pt-Doped Ru Nanoparticles: Catalytic Hydrogenation of Carbonyl Compounds under Ambient Temperature and H ₂ Pressure
			2021A1200	BL01B1	増田 晋也	
42425	Hiroe Kubota	11 (2021) 11180-11192	2021A1615	BL14B2	安村 駿作	Analogous Mechanistic Features of NH ₃ -SCR over Vanadium Oxide and Copper Zeolite Catalysts

Angewandte Chemie International Edition-1

42154	Hitoshi Nakamichi	45 (2006) 4270-4273	2005B0580	BL41XU	岡田 哲二	Crystallographic Analysis of Primary Visual Photochemistry
42170	Cheng Liu	60 (2021) 20489-20497	2020A1767	BL46XU	柴山 直之	Dopant-Free Hole Transport Materials Afford Efficient and Stable Inorganic Perovskite Solar Cells and Modules
			2019B1807	BL19B2	中村 唯我	
			2021A1689	BL46XU	柴山 直之	
42243	Longshuai Zhang	60 (2021) 21751-21755	2018A3631	BL14B1	崔 藝涛	Carbon Nitride Supported High-Loading Fe Single-Atom Catalyst for Activation of Peroxymonosulfate to Generate ¹ O ₂ with 100% Selectivity
			2016A3618	BL14B1	崔 藝涛	

Angewandte Chemie International Edition-2

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
42276	Yuko Mitsuka	60 (2021) 22283-22288	2018B1728	BL14B2	荻原 直希	Fabrication of Integrated Copper-Based Nanoparticles/Amorphous Metal–Organic Framework by a Facile Spray-Drying Method: Highly Enhanced CO ₂ Hydrogenation Activity for Methanol Synthesis
			2018B1501	BL02B2	小林 浩和	
			2019A1232	BL02B2	小林 浩和	
			2019B1468	BL02B2	小林 浩和	
42414	Tokuhiwa Kawawaki	60 (2021) 21340-21350	2020A0695	BL01B1	川脇 徳久	Creation of High-Performance Heterogeneous Photocatalysts by Controlling Ligand Desorption and Particle Size of Gold Nanocluster
			2020A0715	BL01B1	山添 誠司	
			2018B1422	BL01B1	山添 誠司	
			2020A1410	BL01B1	平山 純	

Japanese Journal of Applied Physics

42082	Kenji Ohwada	60 (2021) SFFA05	2016A3763	BL22XU	大和田 謙二	Observation of 90° Domain Walls in Relaxor Ferroelectrics PMN-28.6%PT by Focusing upon the CTR Scattering
			2015A3713	BL22XU	大和田 謙二	
			2015B3713	BL22XU	大和田 謙二	
			2017A3761	BL22XU	大和田 謙二	
			2017B3761	BL22XU	大和田 謙二	
			2018A3761	BL22XU	大和田 謙二	
			2018B3761	BL22XU	大和田 謙二	
42152	Sangwook Kim	60 (2021) SFFD01	2018B1267	BL02B2	Kim Sangwook	Material Softening by Cation Off-centering in Bi-based Lead-free Piezoelectric Ceramics
			2017A1466	BL02B2	和田 智志	
			2017A1660	BL02B2	Kim Sangwook	
42169	Norihiro Oshime	60 (2021) SFFA07	2017B3761	BL22XU	大和田 謙二	Bragg Coherent Diffraction Imaging Allowing Simultaneous Retrieval of Three-dimensional Shape and Strain Distribution for 40–500 nm Particles
			2018A3761	BL22XU	大和田 謙二	
			2018B3761	BL22XU	大和田 謙二	
			2019A3761	BL22XU	大和田 謙二	
			2020A3761	BL22XU	大和田 謙二	
42246	Shinichi Honda	60 (2021) 095002	2016A1799	BL04B1	肥後 祐司	In situ Observation of Transformation of Neutron-irradiated Highly Oriented Pyrolytic Graphite (HOPG) by X-ray Diffraction under High-pressure and High-temperature Treatment
			2018A2016	BL04B1	肥後 祐司	
			2015A2004	BL04B1	肥後 祐司	
			2016B1949	BL04B1	肥後 祐司	
			2017A1851	BL04B1	肥後 祐司	
			2017A1864	BL04B1	肥後 祐司	
42331	Junichi Takino	60 (2021) 095501	2018A3202	BL24XU	津坂 佳幸	Floral Design GaN Crystals: Low-resistive and Low-dislocation-density Growth by Oxide Vapor Phase Epitaxy
			2018B3202	BL24XU	津坂 佳幸	

Journal of Materials Chemistry A

42083	Kei Kubota	9 (2021) 12830-12844	2015B1532	BL02B2	駒場 慎一	Impact of Mg and Ti Doping in O3 Type NaNi _{1/2} Mn _{1/2} O ₂ on Reversibility and Phase Transition during Electrochemical Na Intercalation
			2017B1312	BL02B2	駒場 慎一	
			2018A1630	BL02B2	駒場 慎一	
			2018B1776	BL19B2	駒場 慎一	
42089	Hao Ge	9 (2021) 13898-13907	2020A1064	BL01B1	桑原 泰隆	Plasmon-induced Catalytic CO ₂ Hydrogenation by a Nano-sheet Pt/H ₂ MoO _{3-y} Hybrid with Abundant Surface Oxygen Vacancies
			2018B1185	BL01B1	桑原 泰隆	
42179	Yosuke Goto	9 (2021) 7034-7041	2019A1101	BL02B2	後藤 陽介	The Crystal Structure and Electrical/Thermal Transport Properties of Li _{1-x} Sn _{2x} P ₂ and its Performance as a Li-ion Battery Anode Material
42389	Tasuku Uchimura	9 (2021) 20371-20374	2020A1659	BL02B2	岡本 啓	Direct Synthesis of Barium Titanium Oxyhydride for Use as a Hydrogen Permeable Electrode
			2019A1084	BL02B2	竹入 史隆	
42399	Takahisa Omata	9 (2021) 20595-20606	2019A2058	BL04B2	尾原 幸治	Investigating the Role of GeO ₂ in Enhancing the Thermal Stability and Proton Mobility of Proton-conducting Phosphate Glasses
			2019B2091	BL04B2	尾原 幸治	

The Journal of Physical Chemistry C-1

42067	Kenichi Ozawa	125 (2021) 13963-13970	2018B7589	BL07LSU	小澤 健一	Influence of Stacking Order of Phthalocyanine and Fullerene Layers on the Photoexcited Carrier Dynamics in Model Organic Solar Cell
			2016A7503	BL07LSU	小澤 健一	
			2017A7533	BL07LSU	小澤 健一	
			2017B7542	BL07LSU	小澤 健一	
42118	Takeo Ohsawa	125 (2021) 14836-14842	2018A4602	BL15XU	大澤 健男	Investigation of Temperature-Dependent Hard X-ray Photoemission Spectra on Au/Nb:SrTiO ₃ Schottky Junctions
			2018B4603	BL15XU	大澤 健男	
			2017A4607	BL15XU	大澤 健男	
			2017B4603	BL15XU	大澤 健男	
			2016A4603	BL15XU	大澤 健男	
2016B4603	BL15XU	大澤 健男				

The Journal of Physical Chemistry C-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
42234	Fumito Fujishiro	125 (2021) 13283-13290	2018A1174	BL01B1	大石 昌嗣	Effects of the Crystal Host Structure on the Oxygen Desorption Behavior in Perovskite-Type $AeFe_{0.9}In_{0.1}O_{3-\delta}$ ($Ae = Sr$ and Ba)
			2018B1446	BL01B1	大石 昌嗣	
42282	Yukiko Hosono	125 (2021) 11411-11418	2020A1020	BL14B2	関根 泰	Co-CeO ₂ Interaction Induces the Mars-van Krevelen Mechanism in Dehydrogenation of Ethane
			2019B1723	BL14B2	渡辺 剛	
			2018A1801	BL14B2	君島 堅一	
			2017B1920	BL14B2	渡辺 剛	
42434	Akhil Tayal	125 (2021) 20583-20591	2018B1018	BL28B2	坂田 修身	Investigation of Local Structure and Enhanced Thermal Stability of Ir-Doped PdRu Nanoparticles for Three-Way Catalytic Applications
			2018B1143	BL01B1	坂田 修身	
			2019A1002	BL28B2	坂田 修身	
			2019B1271	BL01B1	坂田 修身	
			2019B1278	BL28B2	坂田 修身	
			2020A1141	BL01B1	坂田 修身	
2020A1142	BL28B2	坂田 修身				

Journal of Synchrotron Radiation

42074	Noritake Isomura	28 (2021) 1114-1118	2019A5070	BL16XU	小坂 悟	Local Atomic Structure Analysis around Mg Atom Doped in GaN by X-ray Absorption Spectroscopy and Spectrum Simulations
42196	Talgat Mamrybayev	28 (2021) 732-740	2019B1766	BL20B2	Mamrybayev Talgat	Staircase Array of Inclined Refractive Multi-lenses for Large Field of View Pixel Super-resolution Scanning Transmission Hard X-ray Microscopy
42267	Takayuki Muro	28 (2021) 1631-1638	2014B1498	BL25SU	Kozina Xeniya	Soft X-ray ARPES for Three-dimensional Crystals in the Micrometre Region
			2015B2002	BL25SU	室 隆桂之	
			2016A1844	BL25SU	室 隆桂之	
			2017B1258	BL25SU	室 隆桂之	
			2017B1982	BL25SU	室 隆桂之	
			2018A1283	BL25SU	室 隆桂之	
			2018A2064	BL25SU	室 隆桂之	
			2018B2103	BL25SU	室 隆桂之	
			2019A1323	BL25SU	室 隆桂之	
			2019A2067	BL25SU	室 隆桂之	
42268	Takayuki Muro	28 (2021) 1669-1671	2019A1323	BL25SU	室 隆桂之	Spherical Micro-hole Grid for High-resolution Retarding Field Analyzer
			2019A2067	BL25SU	室 隆桂之	
			2019B2028	BL25SU	室 隆桂之	
			2020A2048	BL25SU	室 隆桂之	
42298	Masaki Abe	28 (2021) 1610-1615	2018A1307	BL27SU	岸本 浩通	Development and Application of a Tender X-ray Ptychographic Coherent Diffraction Imaging System on BL27SU at SPring-8
			2018B1303	BL27SU	岸本 浩通	
			2019A0164	BL27SU	高橋 幸生	
			2020A0629	BL27SU	高橋 幸生	

Chemical Communications

42255	Kento Shimamoto	57 (2021) 7649-7652	2018B1375	BL02B1	砂田 祐輔	Nuclearity Expansion in Pd Clusters Triggered by the Migration of a Phenyl Group in Cyclooligosilanes
42283	Yudai Hisai	57 (2021) 5737-5749	2020A1716	BL14B2	関根 泰	Enhanced Activity of Catalysts on Substrates with Surface Protonic Current in an Electrical Field – a Review
			2020A1853	BL14B2	関根 泰	
42314	Kentaro Kadota	55 (2019) 9283-9286	2018A1336	BL02B2	堀毛 悟史	Synthesis of Porous Coordination Polymers using Carbon Dioxide as a Direct Source
42407	Kazuhiko Mukai	57 (2021) 9752-9755	2020A7037	BL33XU	宇山 健	Development of an <i>in situ</i> High-temperature X-ray Diffraction Technique for Lithium-ion Battery Materials

Crystal Growth & Design-1

42070	Hayato Sumi	21 (2021) 4506-4515	2018A1520	BL40B2	田川 美穂	Two-step Nanoparticle Crystallization via DNA-guided Self-assembly and Nonequilibrium Dehydration Process
			2017A1545	BL40B2	田川 美穂	
			2017B1560	BL40B2	田川 美穂	
			2019B1586	BL40B2	田川 美穂	
42238	Hiroshi Takatsu	21 (2021) 3779-3785	2019A1304	BL01B1	高津 浩	Strain-Assisted Topochemical Synthesis of La-Doped SrVO ₃ H Films
			2019B1084	BL01B1	高津 浩	
42256	Ryo Wakabayashi	21 (2021) 2844-2849	2018B4700	BL15XU	吉松 公平	Epitaxial Stabilization of Complete Solid-solution β -(Al _x Ga _{1-x}) ₂ O ₃ (100) Films by Pulsed-laser Deposition
			2017B4700	BL15XU	吉松 公平	

Crystal Growth & Design-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
42322	Kazutaka Tomita	21 (2021) 5116-5125	2018B1595	BL46XU	尾坂 格	Substrate-Independent Control of Polymorphs in Tetraphenylporphyrin Thin Films by Varying the Solvent Evaporation Time Using a Simple Spin-Coating Technique

Nature Communications

42285	Taisuke Matsuno	12 (2021) 5062	2018B1053	BL38B1	松野 太輔	A Hybrid Molecular Peapod of sp ² - and sp ³ -nanocarbons Enabling Ultrafast Terahertz Rotations
42368	Takao Arimori	12 (2021) 4012	2017B6500	BL44XU	山下 栄樹	Structural Mechanism of Laminin Recognition by Integrin
42401	Motoi Kimata	12 (2021) 5582	2018A1525	BL25SU	木俣 基	X-ray Study of Ferroic Octupole Order Producing Anomalous Hall Effect
			2018B1533	BL25SU	野尻 浩之	
			2019A1589	BL25SU	木俣 基	
42429	Xubin Ye	12 (2021) 1917	2018A1667	BL09XU	西久保 匠	Observation of Novel Charge Ordering and Spin Reorientation in Perovskite Oxide PbFeO ₃
			2019B1896	BL19B2	東 正樹	
			2018A1636	BL02B2	西久保 匠	

Proceedings of SPIE

42175	Kurumi Saitou	11600 (2021) 116001U	2020A1668	BL20B2	齊藤 くるみ	Alveolar Sac Analysis of 3D Human Lung Microstructure using Synchrotron Radiation Micro-CT
			2020A1127	BL20B2	仁木 登	
42307	Yoshitomo Maeda	11444 (2020) 114442X	2020A0746	BL20B2	前田 良知	XL-Calibur: the Next-Generation Balloon-borne Hard X-ray Polarimeter
			2020A1298	BL20B2	前田 良知	
			2019B1221	BL20B2	前田 良知	
42308	Kengo Hattori	11444 (2020) 114445W	2020A0746	BL20B2	前田 良知	Current Status of the X-ray Mirror for the XL-Calibur Experiment
			2019B1221	BL20B2	前田 良知	
			2020A1298	BL20B2	前田 良知	
42365	Takenori Shimamura	11492 (2020) 114920P	2019B1628	BL25SU	三村 秀和	Design of Ultrashort Kirkpatrick-Baez Mirror for Soft X-ray Nanofocusing

Scientific Reports

42111	Yuya Higashi	11 (2021) 14192	2019A3658	BL14B1	安田 良	Iodine Containing Porous Organosilica Nanoparticles Trigger Tumor Spheroids Destruction upon Monochromatic X-ray Irradiation: DNA Breaks and K-edge Energy X-ray
			2019B3658	BL14B1	安田 良	
			2020A3658	BL14B1	安田 良	
			2020A3660	BL14B1	安田 良	
			2021A3660	BL14B1	城 鮎美	
42143	Rino Saiga	11 (2021) 11768	2011A0034	BL20XU	水谷 隆太	Brain Capillary Structures of Schizophrenia Cases and Controls Show a Correlation with Their Neuron Structures
			2015A1160	BL20XU	水谷 隆太	
			2015B1101	BL20XU	水谷 隆太	
			2016B1041	BL20XU	水谷 隆太	
			2018A1164	BL20XU	水谷 隆太	
42386	Hidenori Fujiwara	11 (2021) 18654	2016A3832	BL23SU	藤原 秀紀	Detecting Halfmetallic Electronic Structures of Spintronic Materials in a Magnetic Field
			2017A7530	BL07LSU	藤原 秀紀	
			2017B7552	BL07LSU	梅津 理恵	
			2018B7581	BL07LSU	藤原 秀紀	
			2019A7599	BL07LSU	梅津 理恵	
			2020A7475	BL07LSU	梅津 理恵	
			2021A7497	BL07LSU	梅津 理恵	
42393	Peter Winkel Rasmussen	11 (2021) 12501	2016A1459	BL47XU	Sorensen Henning	Improved Dynamic Imaging of Multiphase Flow by Constrained Tomographic Reconstruction

Applied Surface Science

42202	Makoto Takayanagi	568 (2021) 150898	2020A4605	BL15XU	土屋 敬志	In situ Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy on the Origin of Irreversibility in Electrochromic Li _x WO ₃ Thin Films
			2019B4605	BL15XU	土屋 敬志	
			2018A4604	BL15XU	土屋 敬志	
42379	Ke-Hsuan Wang	568 (2021) 150914	2019A1386	BL01B1	吉田 真明	Insights into the Deposition of Nanostructured Nickel Oxides by Amino Acid Chelated Complexes: Benefits of Mixed Side Chains in the Formation of Nanostructures for Energy-Efficient Electrochromic Windows
			2020A1360	BL01B1	吉田 真明	
42441	Tsai-Te Wang	511 (2020) 145548	2018A4137	BL12B2	Lin Yan-Gu	KSCN-activation of Hydrogenated NiO/TiO ₂ for Enhanced Photocatalytic Hydrogen Evolution

Chemistry - A European Journal

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
42166	Masaki Takahashi	27 (2021) 14081-14091	2020A1627	BL19B2	中山 泰生	Influence of <i>N</i> -Substituents on Photovoltaic Properties of Singly Bay-Linked Dimeric Perylene Diimides
42173	Atsuko Kuno	27 (2021) 10068-10076	2015A0114	BL40XU	高谷 光	Dipyrrolyldiketone P ^{II} Complexes: Ion-Pairing π-Electronic Systems with Various Anion-Binding Modes
			2019A1475	BL40XU	前田 大光	
			2019A1508	BL02B1	羽毛田 洋平	
			2019B1638	BL02B1	羽毛田 洋平	
42329	Ko Urushibara	27 (2021) 11205-11215	2018B1425	BL38B1	片桐 幸輔	Accessing Improbable Foldamer Shapes with Strained Macrocycles

Journal of Alloys and Compounds

42351	Yongpeng Tang	889 (2022) 161815	2019A1312	BL04B1	増田 高大	Phase Transformations in Al-Ti-Mg Powders Consolidated by High-pressure Torsion: Experiments and First-principles Calculations
			2020A1755	BL04B1	堀田 善治	
42357	Riki Kataoka	890 (2022) 161763	2019B3782	BL22XU	片岡 理樹	Sodium Insertion and De-insertion Mechanism of Spinel-type Sodium Titanium Oxide Studied by <i>in situ</i> XRD
			2018B2087	BL19B2	橘田 晃宣	
42358	Rie Umetsu	890 (2022) 161590	2015B1345	BL25SU	梅津 理恵	Soft X-ray Absorption Spectroscopy and Magnetic Circular Dichroism under Pulsed High Magnetic Field of Ni-Co-Mn-In Metamagnetic Shape Memory Alloy

Journal of Catalysis

42109	Mizuki Ishimaru	397 (2021) 192-200	2020A1410	BL01B1	平山 純	Methane Coupling and Hydrogen Evolution Induced by Palladium-loaded Gallium Oxide Photocatalysts in the Presence of Water Vapor
42168	Yuan Jing	400 (2021) 387-396	2020A1695	BL14B2	井 元	Roles of the Basic Metals La, Ba, and Sr as Additives in Al ₂ O ₃ -Supported Pd-based Three-way Catalysts
			2019B1686	BL14B2	鳥屋尾 隆	
42390	Naonari Sakamoto	404 (2021) 12-17	2019B7038	BL33XU	坂本 直柔	Electrochemical CO ₂ Reduction Improved by Tuning the Cu-Cu Distance in Halogen-Bridged Dinuclear Cuprous Coordination Polymers
			2020A7038	BL33XU	坂本 直柔	
			2020A5071	BL16XU	高橋 直子	

Journal of Physics: Condensed Matter

42141	Yoshiya Yamamoto	33 (2021) 255603	2014B4131	BL12B2	水木 純一郎	Electronic and Crystal Structures of LnFeAsO _{1-x} H _x (Ln = La, Sm) Studied by X-ray Absorption Spectroscopy, X-ray Emission Spectroscopy, and X-ray Diffraction: II Pressure Dependence
			2014B4256	BL12XU	水木 純一郎	
			2014B4268	BL12XU	水木 純一郎	
			2016A4137	BL12B2	山浦 淳一	
			2017A4255	BL12XU	山浦 淳一	
42142	Yoshiya Yamamoto	33 (2021) 255602	2013A3502	BL11XU	石井 賢司	Electronic and Crystal Structures of LnFeAsO _{1-x} H _x (Ln = La, Sm) Studied by X-ray Absorption Spectroscopy, X-ray Emission Spectroscopy, and X-ray Diffraction (Part I: Carrier-doping Dependence)
			2014B4131	BL11XU	水木 純一郎	
			2014B4256	BL12XU	水木 純一郎	
			2016A4137	BL12B2	山浦 淳一	
			2017A4255	BL12XU	山浦 淳一	
42156	Katariina Pussi	33 (2021) 395801	2020A1238	BL04B2	Kamali-Moghaddam Saeed	Atomic Arrangements in an Amorphous CoFeB Ribbon Extracted via an Analysis of Radial Distribution Functions

Langmuir

42297	Tomohiko Okada	37 (2021) 10469-10480	2019A1172	BL02B2	岡田 友彦	Important Roles of Water Clusters Confined in a Nanospace as Revealed by a Synchrotron X-ray Diffraction Study
			2015A0074	BL02B2	森吉 千佳子	
			2019A0068	BL02B2	森吉 千佳子	
			2018A1416	BL02B2	藤村 卓也	
			2017B1196	BL02B2	藤村 卓也	
			2017A1483	BL02B2	藤村 卓也	
			2018A1004	BL02B2	笹井 亮	
42328	Kentaro Yamamoto	36 (2020) 9960-9966	2017B7274	BL03XU	小池 淳一郎	Surface Segregation of a Star-Shaped Polyhedral Oligomeric Silsesquioxane in a Polymer Matrix
42436	Takayuki Imoto	37 (2021) 8971-8977	2019A1790	BL19B2	大野 正司	Self-Assembled Palmitoyl-Glycine-Histidine as a Permeation Enhancer for Transdermal Delivery

Polymer Journal

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
42068	Kazuhiro Shikinaka	53 (2021) 841-845	2018A1185	BL40B2	敷中 一洋	Polymer Heat-proofing using Defibered Plants Obtained by Wet-type Bead Milling of Japanese Cedar
42294	Mari Otsubo	(2021) Online published 26 Aug. 2021	2018A1123	BL45XU	寺尾 憲	Kinetics of the Complex Formation of Silica Nanoparticles with Collagen
42296	Yoshifumi Amamoto	(2021) Online published 28 Jul. 2021	2020A1525	BL40XU	高原 淳	Visualization of Judgment Regions in Convolutional Neural Networks for X-ray Diffraction and Scattering Images of Aliphatic Polyesters
			2019B1667	BL40B2	高原 淳	

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

42124	Simon Miller	118 (2021) e2026191118	2017A6743	BL44XU	廣田 毅	Structural Differences in the FAD-binding Pockets and Lid Loops of Mammalian CRY1 and CRY2 for Isoform-selective Regulation
			2017B6743	BL44XU	廣田 毅	
			2018B1011	BL41XU	山本 雅貴	
			2018B6843	BL44XU	廣田 毅	
			2019A6942	BL44XU	廣田 毅	
42155	Hitoshi Nakamichi	103 (2006) 12729-12734	2005B0580	BL41XU	岡田 哲二	Local Peptide Movement in the Photoreaction Intermediate of Rhodopsin
42300	Ziva Vuckovic Mueller	116 (2019) 26001-26007	2017B2731	BL32XU	Thal David	Crystal Structure of the M ₅ Muscarinic Acetylcholine Receptor

ACS Applied Energy Materials

42178	Keisuke Shinozaki	4 (2021) 5155-5164	2020A1096	BL02B2	三浦 章	Thermoelectric Properties of the As/P-Based Zintl Compounds Euln ₂ As _{2-x} P _x (x = 0–2) and SrSn ₂ As ₂
42423	Yadan Ren	(2021) Online published Sep. 26, 2021	2019A1820	BL14B2	内山 智貴	Quantitative Evaluation of the Activity of Low-Spin Tetravalent Nickel Ion Sites for the Oxygen Evolution Reaction
			2019B1855	BL14B2	内山 智貴	
			2019B1899	BL14B2	内山 智貴	
			2018A1749	BL14B2	内山 智貴	
			2018A1750	BL19B2	内山 智貴	
			2018B1616	BL19B2	内山 智貴	
2019A1763	BL14B2	内山 智貴				

ACS Omega

42242	Yuuki Kawamura	6 (2021) 7387-7393	2019B7270	BL03XU	岩田 忠久	Mechanism of Elastic Properties of Biodegradable Poly[(<i>F</i>)-3-Hydroxybutyrate-co-4-hydroxybutyrate] Films Revealed by Synchrotron Radiation
			2019A7234	BL03XU	岩田 忠久	
			2019A1213	BL40B2	岩田 忠久	
			2019B1018	BL20B2	大嶋 義博	
			理研	BL45XU		
42373	Xiao Gao	6 (2021) 14130-14137	2018A1020	BL40B2	今井 英人	Impact of the Composition of Alcohol/Water Dispersion on the Proton Transport and Morphology of Cast Perfluorinated Sulfonic Acid Ionomer Thin Films
			2018B1034	BL40B2	内本 喜晴	
			2019A1025	BL40B2	内本 喜晴	
			2019B1023	BL27SU	内本 喜晴	
			2019B1024	BL40B2	内本 喜晴	

Advanced Science

42106	Hiroaki Ito	8 (2021) 2101413	2019B1195	BL02B2	後藤 陽介	Kinetically Stabilized Cation Arrangement in Li ₃ YCl ₆ Superionic Conductor during Solid-State Reaction
			2020A1096	BL02B2	三浦 章	
42158	Minami Oka	8 (2021) 2101143	2018A1746	BL19B2	本多 智	Photocleavable Regenerative Network Materials with Exceptional and Repeatable Viscoelastic Manipulability

Applied Catalysis B

42135	Hongqiang Xin	297 (2021) 120457	2018B1728	BL14B2	荻原 直希	Recording the Pt-beyond Hydrogen Production Electrocatalysis by Dirhodium Phosphide with an Overpotential of only 4.3 mV in Alkaline Electrolyte
42198	Lujie Liu	292 (2021) 120164	2020A1744	BL14B2	Li Congcong	Structure and Performance Relationship of Silica-Supported Platinum-Tungsten Catalysts in Selective C-O Hydrogenolysis of Glycerol and 1,4-anhydroerythritol

Applied Physics Express

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
42324	Haruna Shiomi	14 (2021) 095502	2017B1024	BL13XU	酒井 朗	Analysis of Inverse-Piezoelectric-Effect-Induced Lattice Deformation in AlGaIn/GaN High-Electron-Mobility Transistors by Time-Resolved Synchrotron Radiation Nanobeam X-ray Diffraction
			2018A1412	BL13XU	酒井 朗	
			2018B1013	BL13XU	酒井 朗	
			2018B1495	BL13XU	藤平 哲也	
			2019A1549	BL13XU	藤平 哲也	
			2019B1009	BL13XU	酒井 朗	
			2019B1627	BL13XU	藤平 哲也	
			2019B2101	BL13XU	今井 康彦	
			2020A1136	BL13XU	酒井 朗	
2020A1402	BL13XU	藤平 哲也				
2021A1207	BL13XU	酒井 朗				
42369	Ryoichi Mizutani	14 (2021) 105501	2021A1160	BL13XU	白石 貴久	Thickness Scaling of (Al _{0.8} Sc _{0.2})N Films with Remanent Polarization beyond 100 μC cm ⁻² around 10 nm in Thickness

Applied Physics Letters

42312	Tasuku Yoshida	119 (2021) 092904	2014B1516	BL01B1	狩野 旬	High Valence States of Pd Supported on Ferroelectric BaTiO ₃ Driven by Electric Polarization
			2015A1373	BL27SU	狩野 旬	
			2015A1567	BL01B1	狩野 旬	
42428	V. Thiruvengadam	115 (2019) 202402	2016A1429	BL39XU	水口 将輝	Magnetization Reversal, Damping Properties and Magnetic Anisotropy of L1 ₀ -ordered FeNi Thin Films
			2016B1359	BL39XU	水口 将輝	
			2017A1462	BL39XU	水口 将輝	
			2018A1522	BL39XU	水口 将輝	
			2019A1559	BL39XU	水口 将輝	

Applied Sciences

42136	Hiroyuki Saitoh	11 (2021) 6719	2016A3652	BL14B1	齋藤 寛之	Pressure-Temperature Phase Diagram of Ta-H System up to 9 GPa and 600°C
			2018A3651	BL14B1	齋藤 寛之	
			2018B3651	BL14B1	齋藤 寛之	
			2019A3651	BL14B1	齋藤 寛之	
			2019B3651	BL14B1	齋藤 寛之	
			2020A3651	BL14B1	齋藤 寛之	
			2021A3651	BL14B1	齋藤 寛之	
42380	Kazutaka Ikeda	11 (2021) 8349	2014B3784	BL22XU	神 浩司	Generating Mechanism of Catalytic Effect for Hydrogen Absorption/Desorption Reactions in NaAlH ₄ -TiCl ₃

Biological and Pharmaceutical Bulletin

42383	Akihiro Honda	44 (2021) 1210-1219	2017A2530	BL26B1	大山 拓次	Structural Basis for Anti-non-alcoholic Fatty Liver Disease and Diabetic Dyslipidemia Drug Saroglitazar as a PPAR α/γ Dual Agonist
			2018A2558	BL38B1	大山 拓次	
			2020A2582	BL45XU	大山 拓次	
42384	Takuji Oyama	44 (2021) 1202-1209	2017A2530	BL26B1	大山 拓次	Crystal Structures of the Human Peroxisome Proliferator-Activated Receptor (PPAR)α Ligand-Binding Domain in Complexes with a Series of Phenylpropanoic Acid Derivatives Generated by a Ligand-Exchange Soaking Method
			2018A2558	BL38B1	大山 拓次	
			2020A2582	BL45XU	大山 拓次	

Bulletin of the Chemical Society of Japan

42304	Rie Makiura	94 (2021) 2060-2067	2019B1860	BL19B2	大畑 考司	Air/Water Interfacial Monolayer Assembly of Peptide-Conjugated Liquid-Crystalline Molecules
			2019B1857	BL46XU	渡辺 剛	
42362	Takashi Kamegawa	94 (2021) 2089-2091	2018A1414	BL01B1	亀川 孝	Synthesis of Flower-Like Structured Calcium Silicide and Its Application in the Preparation of Palladium-Loaded Catalyst

Carbohydrate Polymers

42402	Ryuji Hirase	275 (2022) 118669	2013A1055	BL40B2	山根 千弘	Dissolution of Cellulose into Supercritical Water and its Dissolving State Followed by Structure Formation from the Solution System
			2013B1073	BL40B2	山根 千弘	
42419	Yu Tomofuji	275 (2022) 118681	2017B1062	BL40B2	寺尾 憲	Kinetics of Denaturation and Renaturation Processes of Double-Stranded Helical Polysaccharide, Xanthan in Aqueous Sodium Chloride
			2018B1088	BL40B2	寺尾 憲	
			2019A1072	BL40B2	寺尾 憲	
			2019B1113	BL40B2	寺尾 憲	

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
42100	Masayuki Wakioka	33 (2021) 5631-5638	2018A1584	BL19B2	脇岡 正幸	Formation of <i>trans</i> -Poly(thienylenevinylene) Thin Films by Solid-State Thermal Isomerization
			2018B1617	BL46XU	脇岡 正幸	
			2019B1843	BL46XU	脇岡 正幸	
			2020A1742	BL46XU	但馬 敬介	
42121	Satoshi Hiroi	33 (2021) 5943-5950	2017A4507	BL15XU	廣井 慧	Structural Characterization of the Delithiated Noncrystalline Phase in a Li-Rich Li ₂ VO ₂ F Cathode Material
			2017B1655	BL04B2	神前 隆	
			2018B1372	BL04B2	廣井 慧	
			2018A2057	BL04B2	尾原 幸治	

ChemSusChem

42090	Ruiling Wang	14 (2021) 2180-2187	2020A1064	BL01B1	桑原 泰隆	Modification of Ti-doped Hematite Photoanode with Quasimolecular Cocatalyst: A Comparison of Improvement Mechanism Between Non-noble and Noble Metals
			2020A1062	BL01B1	森 浩亮	
42183	Minyan Gu	14 (2021) 642-654	2020A1744	BL14B2	Li Congcong	Selective Hydrogenolysis of Erythritol over Ir-ReO ₃ /Rutile-TiO ₂ Catalyst

Communications Chemistry

42072	Hiroshi Yamagishi	3 (2020) 118	2018B1278	BL43IR	武田 洋平	Sigmoidally Hydrochromic Molecular Porous Crystal with Rotatable Dendrons
42164	Takashi Tsuchiya	4 (2021) 117	2020A4605	BL15XU	土屋 敬志	The Electric Double Layer Effect and its Strong Suppression at Li ⁺ Solid Electrolyte/Hydrogenated Diamond Interfaces
			2019B4605	BL15XU	土屋 敬志	
			2018A4604	BL15XU	土屋 敬志	

Dalton Transactions

42182	Yosuke Goto	47 (2018) 2575-2580	2016B1078	BL02B2	水口 佳一	Effect of Te Substitution on Crystal Structure and Transport Properties of AgBiSe ₂ Thermoelectric Material
42377	Tomoya Suzuki	50 (2021) 11390-11397	2019B3738	BL22XU	鈴木 智也	Speciation and Separation of Platinum(IV) Polynuclear Complexes in Concentrated Nitric Acid Solutions
			2020A3737	BL22XU	鈴木 智也	
			2018B3736	BL22XU	鈴木 智也	
			2019A3738	BL22XU	鈴木 智也	

European Journal of Inorganic Chemistry

42114	Naoya Haraguchi	2021 (2021) 1531-1535	2020A0715	BL01B1	山添 誠司	Formation of Mixed-Valence Luminescent Silver Clusters via Cation-Coupled Electron-Transfer in a Redox-Active Ionic Crystal Based on a Dawson-type Polyoxometalate with Closed Pores
			2020A1219	BL01B1	山添 誠司	
42149	Sho Yamaguchi	2021 (2021) 3327-3331	2021A1091	BL01B1	満留 敬人	Efficient D-Xylose Hydrogenation to D-Xylitol over a Hydrotalcite-Supported Nickel Phosphide Nanoparticle Catalyst

Historical Biology

42186	Martin Kundrát	(2021) Online published 12 Aug. 2021	2017A1714	BL20B2	Kundrat Martin	New Information on Multispherulitic Dinosaur Eggs: Faveololithidae and Dendroolithidae
			2017B1755	BL20B2	Kundrat Martin	
42274	Quentin Monfroy	(2021) Online published 22 Aug. 2021	2018B1543	BL20B2	Kundrat Martin	Dichotomy in Formation and Growth of Bones of <i>Yanomisa martini</i> (Pygostylia, Ornithuromorpha): Study of Thermal Regime in an Extinct Bird

Macromolecules

42119	Tomoki Nishimura	54 (2021) 7003-7009	2020A0524	BL40B2	西村 智貴	Manipulating the Morphology of Amphiphilic Graft-Copolymer Assemblies by Adjusting the Flexibility of the Main Chain
			2020A1070	BL40B2	西村 智貴	
			2021A1065	BL40B2	西村 智貴	
42264	Takuro Kogo	53 (2020) 10964-10971	2018A7222	BL03XU	小池 淳一郎	Spatial Heterogeneity Accompanying Gel Formation of Poly(<i>N</i> -isopropylacrylamide) Aqueous Solution at a Temperature below Cloud Point
			2018B7272	BL03XU	小池 淳一郎	

Materials Today Physics

42241	Tomohiro Oku	20 (2021) 100484	2017A1464	BL02B2	小菅 厚子	Superior Room-temperature Power Factor in GeTe Systems via Multiple Valence Band Convergence to a Narrow Energy Range
			2015A0074	BL02B2	森吉 千佳子	
			2019A1463	BL02B2	小菅 厚子	
42302	Sudeshna Samanta	20 (2021) 100467	2018A1760	BL05XU	Li Mingtao	Unprecedented Pressure-driven Metallization and Topological Charge Transport in an Anion Radical Salt

Organic 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
42172	Nobuhiro Fumoto	23 (2021) 3897-3901	2018B1714	BL02B1	水口 敬	π -Electronic Ion-Pairing Assemblies of Deprotonation-Induced Anions
			2018B1247	BL38B1	久木 一朗	
			2019A1508	BL02B1	羽毛田 洋平	
			2019A1704	BL02B1	水口 敬	
			2019B1638	BL02B1	羽毛田 洋平	
42417	Yong Yang	23 (2021) 7943-7948	2021A2765	BL41XU	佐藤 宗太	Cycloparaphenylene Double Nanohoop: Structure, Lamellar Packing, and Encapsulation of C ₆₀ in the Solid State

Physical Review X

42320	Akinobu Niozu	11 (2021) 031046	2018B8063	BL3	上田 潔	Relation between Inner Structural Dynamics and Ion Dynamics of Laser-Heated Nanoparticles
42396	Yujia Wang	10 (2020) 021030	2018A1044	BL25SU	Yu Pu	Robust Ferromagnetism in Highly Strained SrCoO ₃ Thin Films
			2018B1305	BL25SU	Yu Pu	
			2019A1344	BL25SU	Yu Pu	

RSC Advances

42101	Md. Mijanur Rahman	11 (2021) 20601-20611	2016A7901	BL36XU	竹口 竜弥	Synthesis of Catalysts with Fine Platinum Particles Supported by High-Surface-Area Activated Carbons and Optimization of Their Catalytic Activities for Polymer Electrolyte Fuel Cells
			2016B7901	BL36XU	竹口 竜弥	
			2017A7901	BL36XU	竹口 竜弥	
42103	Takeshi Aihara	10 (2020) 37538-37544	2019A1717	BL01B1	相原 健司	Highly Active and Durable WO ₃ /Al ₂ O ₃ Catalysts for Gas-phase Dehydration of Polyols

Structure

42301	Yingli Ma	25 (2017) 858-866	2016B2702	BL41XU	Xu Fei	Structural Basis for Apelin Control of the Human Apelin Receptor
			2017B2704	BL41XU	Xu Fei	
42416	Ryuji Yamazawa	26 (2018) 1393-1398	2007A6500	BL44XU	山下 栄樹	Structural Basis for Selective Binding of Export Cargoes by Exportin-5
			2007B6500	BL44XU	山下 栄樹	
			2008A6500	BL44XU	山下 栄樹	
			2008B6500	BL44XU	山下 栄樹	
			2009A6500	BL44XU	山下 栄樹	
			2009B6500	BL44XU	山下 栄樹	
			2012B6500	BL44XU	山下 栄樹	
			2013A6500	BL44XU	山下 栄樹	
			2013B6500	BL44XU	山下 栄樹	
			2014A6500	BL44XU	山下 栄樹	
			2014B6500	BL44XU	山下 栄樹	
2015A6500	BL44XU	山下 栄樹				
2015B6500	BL44XU	山下 栄樹				

鉄と鋼 (Tetsu to Hagane)

42185	Tomohiro Nishimura	107 (2021) 558-565	2018A1380	BL20XU	安田 秀幸	Selection of the Massive-like δ - γ Transformation due to Nucleation of Metastable δ Phase in Fe-18 mass%Cr-Ni Alloys with Ni Contents of 8, 11, 14 and 20 mass%
			2016B1458	BL20XU	安田 秀幸	
			2015A1642	BL20B2	安田 秀幸	
			2014B1449	BL20B2	安田 秀幸	
			2014A1379	BL20B2	安田 秀幸	
42306	Hayato Nishimura	107 (2021) 760-768	2017B3681	BL14B1	秋山 英二	Effects of Residual Stress on Hydrogen Embrittlement of a Stretch-Formed Tempered Martensitic Steel Sheet
			2018A3681	BL14B1	秋山 英二	
			2019B3681	BL14B1	北條 智彦	

ACS Applied Electronic Materials

42446	Kai-Wen Chen	2 (2020) 3843-3852	2018B4258	BL12XU	Tseng Yuan-Chieh	Pulse-Mediated Electronic Tuning of the MoS ₂ -Perovskite Ferroelectric Field Effect Transistors
			2019A4250	BL12XU	Tseng Yuan-Chieh	
			2019A4268	BL12XU	Tseng Yuan-Chieh	

ACS Applied Nano 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
42140	Yohei Nakanishi	4 (2021) 6620-6628	2017B1638	BL19B2	中西 洋平	Concentrated-Polymer-Brush-Modified Silica Nanoparticles Self-Assembled in Ionic Liquid Containing Iodide/Triiodide (I^-/I_3^-)-Redox System as Quasi-Solid Electrolytes for Dye-Sensitized Solar Cells

ACS Applied Polymer Materials

42167	Riku Omokawa	3 (2021) 3708-3713	2021A1065	BL40B2	西村 智貴	Preparation of Aqueous Solutions with Information on Solids (ASIS) of a Mechanochromic Luminescent Tetraphenylethylene Derivative by Complexation with Polysaccharides
-------	--------------	-----------------------	-----------	--------	-------	--

ACS Sustainable Chemistry & Engineering

42150	Min Sheng	9 (2021) 11238-11246	2021A1091	BL01B1	溝留 敬人	Hydrotalcite-Supported Cobalt Phosphide Nanorods as a Highly Active and Reusable Heterogeneous Catalyst for Ammonia-Free Selective Hydrogenation of Nitriles to Primary Amines
-------	-----------	-------------------------	-----------	--------	-------	--

Acta Crystallographica Section F

42412	Yusuke Nakamichi	76 (2020) 341-349	2018B6863	BL44XU	渡邊 真宏	Crystal Structure of GH30-7 Endoxylanase C from the Filamentous Fungus <i>Talaromyces cellulolyticus</i>
-------	------------------	----------------------	-----------	--------	-------	--

Acta Zoologica

42084	Quentin Monfroy	(2021) Online publication 11 July 2021	2019B1381	BL28B2	Kundrat Martin	The Osteohistological Variability in the Evolution of Basal Avialans
			2018B1543	BL20B2	Kundrat Martin	

Advanced Materials

42105	Akira Miura	33 (2021) 2100312	2019A1101	BL02B2	後藤 陽介	Observing and Modeling the Sequential Pairwise Reactions that Drive Solid-State Ceramic Synthesis
			2019B1195	BL02B2	後藤 陽介	
			2020A1096	BL02B2	三浦 章	

Advanced Functional Materials

42139	Zhanglin Guo	31 (2021) 2103614	2021A1689	BL46XU	柴山 直之	Dopant-Free Polymer HTM-Based CsPbI ₂ Br Solar Cells with Efficiency Over 17% in Sunlight and 34% in Indoor Light
-------	--------------	----------------------	-----------	--------	-------	--

APL Materials

42374	Takahiro Nishio	9 (2021) 091108	2021A1675	BL46XU	西尾 隆宏	Fabrication of L1 ₀ -FeNi Films with Island Structures by Nitrogen Insertion and Topotactic Extraction for Improved Coercivity
-------	-----------------	--------------------	-----------	--------	-------	---

Applied Materials Today

42073	Heng-Jui Liu	24 (2021) 101101	2019A4252	BL12XU	Chin Yi-Ying	Atomic Origin of Room-Temperature Two-Dimensional Itinerant Ferromagnetism in an Oxide-Monolayer Heterostructure
			2019A4269	BL12XU	Chin Yi-Ying	

Archives of Biochemistry and Biophysics

42254	Kazumasa Funabashi	708 (2021) 108911	2014B1401	BL41XU	海野 昌喜	Structures of Human Peptidylarginine Deiminase Type III Provide Insights into Substrate Recognition and Inhibitor Design
			2011B6607	BL44XU	海野 昌喜	

Batteries & Supercaps

42442	Kai Tian	3 (2020) 1296-1305	2018A4127	BL12B2	Lin Yan-Gu	Exploring Lithium Storage Mechanism and Cycling Stability of Bi ₂ Mo ₃ O ₁₂ Binary Metal Oxide Anode Compositing with Ti ₃ C ₂ MXene
-------	----------	-----------------------	-----------	--------	------------	---

Biophysical Chemistry

42189	Yuhi Hosoe	278 (2021) 106669	2018A1067	BL40XU	織田 昌幸	Structural Dynamics of a DNA-binding Protein Analyzed using Diffracted X-ray Tracking
			2019B1110	BL40XU	織田 昌幸	

Biophysical Reviews

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
42426	Eiki Yamashita	11 (2019) 521-523	2015A6700	BL44XU	中川 敦史	SPring-8 BL44XU, a Synchrotron Radiation Beamline for Biological Macromolecular Assemblies, Operated by the Institute for Protein Research, Osaka University
			2015B6700	BL44XU	中川 敦史	
			2016A6700	BL44XU	中川 敦史	
			2016B6700	BL44XU	中川 敦史	
			2018A6700	BL44XU	中川 敦史	
			2018B6700	BL44XU	中川 敦史	
			2015A6500	BL44XU	山下 栄樹	
			2015B6500	BL44XU	山下 栄樹	
			2016A6500	BL44XU	山下 栄樹	
			2016B6500	BL44XU	山下 栄樹	
			2017A6500	BL44XU	山下 栄樹	
			2017B6500	BL44XU	山下 栄樹	
2018A6500	BL44XU	山下 栄樹				
2018B6500	BL44XU	山下 栄樹				

Catalysis Science & Technology

42079	Espen Z. Eikeland	11 (2021) 1961-1964	2018B1536	BL01B1	Eikeland Espen	Locating Fe Dopants in Catalytic PtPd Nanoparticles on γ -alumina using X-ray Absorption Spectroscopy
-------	-------------------	------------------------	-----------	--------	-------------------	--

Cell Reports

42395	Sulhee Kim	35 (2021) 109031	2016A2726	BL26B1	Hwang Kwang Yeon	Leucine-sensing Mechanism of Leucyl-tRNA Synthetase 1 for mTORC1 Activation
-------	------------	---------------------	-----------	--------	---------------------	---

Cellulose

42184	Masahisa Wada	28 (2021) 6757-6765	2017A1263	BL40B2	和田 昌久	Three-dimensional Alignment of Cellulose II Microcrystals under a Strong Magnetic Field
-------	---------------	------------------------	-----------	--------	-------	---

ChemCatChem

42113	Chikako Yanagisawa	13 (2021) 169-173	2018B1422	BL01B1	山添 誠司	Silylene-Bridged Tetranuclear Palladium Cluster as a Catalyst for Hydrogenation of Alkenes and Alkynes
-------	--------------------	----------------------	-----------	--------	-------	--

Chemical and Pharmaceutical Bulletin

42062	Hiroki Ohnari	69 (2021) 652-660	2016A1502	BL19B2	大成 宏樹	Amino Acids and Their <i>N</i> -Acetylated Derivatives Maintain the Skin's Barrier Function
			2016A1754	BL19B2	大成 宏樹	
			2014A1049	BL40B2	小幡 誉子	
			2015A1139	BL40B2	小幡 誉子	
			2016B1114	BL40B2	小幡 誉子	
			2018A1078	BL40B2	小幡 誉子	

Chemistry Letters

42137	Koji Kimura	50 (2021) 1526-1529	2016B7608	BL28XU	松原 英一郎	Development of an Evaluation Method for a Lithium/Electrolyte Interface Based on X-ray Reflectivity and Grazing Incidence X-ray Scattering Measurements
			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	

Communications Biology

42161	Yuya Taguchi	4 (2021) 941	2019A6914	BL44XU	神田 大輔	The Structure of an Archaeal Oligosaccharyltransferase Provides Insight into the Strict Exclusion of Proline from the <i>N</i> -glycosylation Sequon
			理研	BL32XU		

Crystals

42076	Hiroshi Sakurai	11 (2021) 787	2017B1506	BL08W	桜井 浩	Temperature and Chemical Reaction Distribution of a Laminar Diffusion Flame Measured by X-ray Compton Scattering
-------	-----------------	------------------	-----------	-------	------	--

Electrochemistry

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
42162	Atsushi Sakuda	85 (2017) 580-584	2016A7601	BL28XU	小久見 善八	Cubic Rocksalt Li_2SnS_3 and a Solid Solution with Li_3NbS_4 Prepared by Mechanochemical Synthesis

Electrochemistry Communications

42278	Yongho Kee	130 (2021) 107108	2021A1308	BL02B2	木村 勇太	An Appropriate Reference and Counter Electrode in an All-solid-state Battery using NASICON-structured Solid Electrolyte
-------	------------	----------------------	-----------	--------	-------	---

Electronic Structure

42063	Shin-ichi Fujimori	3 (2021) 024008	2016A3810	BL23SU	藤森 伸一	Electronic Structure of URu_2Si_2 in Paramagnetic Phase: Three-dimensional Angle Resolved Photoelectron Spectroscopy Study
			2016B3811	BL23SU	藤森 伸一	
			2017A3811	BL23SU	藤森 伸一	
			2017B3811	BL23SU	藤森 伸一	
			2018A3811	BL23SU	藤森 伸一	

Fatigue 2021, Proceedings of the 8th Engineering Integrity Society, International Conference on Durability & Fatigue

42258	Takashi Nakamura	(2021) 349-357	2018B1289	BL20XU	中村 孝	Detection of Small Internal Fatigue Cracks of Ti-6Al-4V in the Very High Cycle Regime via Synchrotron Radiation Nanocomputed Tomography
			2017B1421	BL20XU	中村 孝	

FEBS Open Bio

42411	Yusuke Nakamichi	10 (2020) 1180-1189	2018B6863	BL44XU	渡邊 真宏	Substrate Recognition by a Bifunctional GH30-7 Xylanase B from <i>Talaromyces cellulolyticus</i>
			2019B6930	BL44XU	中道 優介	

Food Science & Nutrition

42265	Akane Nagasaki	9 (2021) 4916-4926	2020A0538	BL43IR	松葉 豪	Analysis of the Sol and Gel Structures of Potato Starch over a Wide Spatial Scale
			2020A1262	BL40B2	松葉 豪	
			2020A1427	BL43IR	松葉 豪	
			2017B1108	BL40B2	松葉 豪	
			2019B1066	BL43IR	松葉 豪	
			2019B1055	BL19B2	松葉 豪	
			2018A1179	BL43IR	松葉 豪	
			2018B1156	BL43IR	松葉 豪	
2019A1185	BL43IR	松葉 豪				

Food Structure

42250	Bowen Fang	27 (2021) 100181	2019B1697	BL19B2	中川 究也	Effect of pH, Ionic Strength, and Freezing Treatment on a Colloidal Suspension of Egg White Aggregates
-------	------------	---------------------	-----------	--------	-------	--

Fuel Processing Technology

42195	Mii Betchaku	218 (2021) 106837	2019A1827	BL14B2	別役 美衣	Catalytic Performance of Hydrotalcite-like-compound-derived Ni-metal Alloy Catalyst for Toluene Reforming with Gasoline Engine Exhaust Model Gas as Reforming Agent
-------	--------------	----------------------	-----------	--------	-------	---

Geochimica et Cosmochimica Acta

42408	Masashi Shidare	313 (2021) 85-98	2013A1373	BL27SU	清水 健二	Survey of Impact Glasses in Shergottites Searching for Martian Sulfate using X-ray Absorption Near-edge Structure
			2014A1081	BL27SU	清水 健二	
			2015B1120	BL27SU	白井 寛裕	
			2016A1294	BL27SU	白井 寛裕	
			2016B1538	BL27SU	白井 寛裕	
			2017A1245	BL27SU	白井 寛裕	

Green Chemistry

42194	Lujie Liu	23 (2021) 5665-5679	2020A1841	BL14B2	別役 美衣	Hydrodeoxygenation of C4-C6 Sugar Alcohols to Diols or Mono-alcohols with the Retention of the Carbon Chain over a Silica-Supported Tungsten Oxide-modified Platinum Catalyst
-------	-----------	------------------------	-----------	--------	-------	---

Inorganica Chimica Acta

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
42418	Masahiko Maekawa	528 (2021) 120628	2018B1819	BL02B1	前川 雅彦	Structurally Diverse Dinuclear Cu(I) Complexes and 1D Helical Cu(I) Coordination Polymers Bridged by 2,2',6',4"-terpyridine
			2019A1262	BL02B1	杉本 邦久	
			2019B1493	BL02B1	杉本 邦久	
			2019A2071	BL02B1	杉本 邦久	
			2019B2092	BL02B1	杉本 邦久	

International Journal of Biological Macromolecules

42273	Yasuyuki Matoba	183 (2021) 1861-1870	2017B2713	BL26B1	坂口 剛正	The Basicity of an Active-site Water Molecule Discriminates between Tyrosinase and Catechol Oxidase Activity
-------	-----------------	-------------------------	-----------	--------	-------	--

International Journal of Hydrogen Energy

42145	Shunnosuke Tanaka	46 (2021) 28078-28086	2019A1246	BL13XU	中村 将志	Tailoring the Hydrophilic and Hydrophobic Reaction Fields of the Electrode Interface on Single Crystal Pt Electrodes for Hydrogen Evolution/Oxidation Reactions
			2020A1274	BL13XU	中村 将志	

International Journal of Modern Physics B

42232	Masatsugu Oishi	35 (2021) 2140048	2017B1437	BL01B1	大石 昌嗣	Local Electronic and Atomic Structures of the Mixed B-site Ions in SrFe _{1-x} Mn _x O _{3-δ} Studied with X-ray Absorption Spectroscopy
			2018B1446	BL01B1	大石 昌嗣	

ISIJ International

42177	Taka Narumi	61 (2021) 1567-1578	2018B1499	BL20XU	安田 秀幸	Time-resolved and <i>in-situ</i> Observation of Semisolid Deformation in Al-Cu Alloys with Equiaxed and Columnar Grain Structures by Using a Combination Technique of 4D-CT and 3DXRD
			2017B1416	BL20XU	安田 秀幸	
			2019A1400	BL20XU	安田 秀幸	

IUCrJ

42080	Nikolaj Roth	8 (2021) 695-702	2014A0078	BL02B1	Iversen Bo	Tuneable Local Order in Thermoelectric Crystals
-------	--------------	---------------------	-----------	--------	------------	---

Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems

42309	Hisamitsu Awaki	7 (2021) 014001	2018B1106	BL20B2	前田 良知	Measuring the Atomic Scattering Factors Near the Iridium L-edges for the Athena Silicon Pore Optics Reflector
-------	-----------------	--------------------	-----------	--------	-------	---

The Journal of Biochemistry

42098	Norihisa Yasui	169 (2021) 585-599	2018A2534	BL41XU	山下 敦子	A Sweet Protein Monellin as a Non-antibody Scaffold for Synthetic Binding Proteins
-------	----------------	-----------------------	-----------	--------	-------	--

The Journal of Biological Chemistry

42257	Hanayo Nakanishi	295 (2020) 10180-10194	2019B2707	BL45XU	阿部 一啓	Crystal Structure of a Human Plasma Membrane Phospholipid Flippase
			2018B2703	BL41XU	阿部 一啓	

Journal of Electroanalytical Chemistry

42096	Keiji Shimoda	895 (2021) 115508	2019A1148	BL02B2	下田 景士	Defluorination/Fluorination Mechanism of Bi _{0.8} Ba _{0.2} F _{2.8} as a Fluoride Shuttle Battery Positive Electrode
-------	---------------	----------------------	-----------	--------	-------	--

Journal of Food Engineering

42249	Bowen Fang	296 (2021) 110452	2019B1697	BL19B2	中川 究也	Microstructure Change in Whole Egg Protein Aggregates upon Freezing: Effects of Freezing Time and Sucrose Addition
-------	------------	----------------------	-----------	--------	-------	--

Journal of Geophysical Research: Solid Earth

42081	Yongsheng Huang	126 (2021) e2020JB021343	2018A1471	BL20XU	上杉 健太郎	Electrical Conductivity in Texturally Equilibrated Fluid-Bearing Forsterite Aggregates at 800°C and 1 GPa: Implications for the High Electrical Conductivity Anomalies in Mantle Wedges
			2018A1464	BL20B2	上杉 健太郎	
			2019B1785	BL20XU	藤田 和果奈	

Journal of Materials Chemistry C

42262	Alexei A. Belik	9 (2021) 10232-10242	2016B4504	BL15XU	山浦 一成	A Plethora of Structural Transitions, Distortions and Modulations in Cu-doped BiMn ₇ O ₁₂ Quadruple Perovskites
			2017A4503	BL15XU	Belik Alexei	
			2019A4501	BL15XU	辻本 吉廣	
			2021A1334	BL02B2	Belik Alexei	

Journal of Molecular 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
42095	Kiyoshi Ito	362 (2006) 228-240	2005B0545	BL38B1	芳本 忠	Crystal Structure and Mechanism of Tripeptidyl Activity of Prolyl Tripeptidyl Aminopeptidase from <i>Porphyromonas gingivalis</i>

Journal of Molecular Liquids

42287	Ildiko Pethes	340 (2021) 117188	2018B1210	BL04B2	Temleitner László	Temperature-dependent Structure of 1-propanol/water Mixtures: X-ray Diffraction Experiments and Computer Simulations at Low and High Alcohol Contents
			2019A1517	BL04B2	Temleitner László	

Journal of Non-Crystalline Solids

42075	Masami Aono	568 (2021) 120963	2019B1174	BL43IR	青野 祐美	Visible Light Irradiation Effects on Chemical Bonding Structure of Amorphous Carbon Nitride Thin Films using Synchrotron Radiation Infrared Rays
			2018B1072	BL43IR	青野 祐美	

The Journal of Physical Chemistry B

42217	Fumitoshi Kaneko	125 (2021) 9757-9767	2019A1206	BL43IR	金子 文俊	Cuticular Lipid Topology on Insect Body Surfaces Studied by Synchrotron Radiation FTIR ATR Microspectroscopy
			2019B1069	BL43IR	金子 文俊	

Journal of Physics: Energy

42372	Akitoshi Nakano	3 (2021) 044004	2020A1431	BL02B1	中埜 彰俊	Giant Peltier Conductivity in an Uncompensated Semimetal Ta_2PdSe_6
			2021A1159	BL02B1	中埜 彰俊	

Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics

42200	Tatsuo Gejo	54 (2021) 144004	2017B8021	BL1	大浦 正樹	Dissociation and Ionization Dynamics of CF_3I and CH_3I Molecules via Pump-and-Probe Experiments using Soft X-ray Free-Electron Laser
			2019A8026	BL1	下條 竜夫	
			2017A8070	BL1	大浦 正樹	

Journal of Power Sources

42092	Hideyuki Nakano	506 (2021) 230209	2020A7037	BL33XU	宇山 健	Suppression of Thermal Runaway by Continuous Heat Generation using Porous Silicon Covered with a Thin Oxide Layer
-------	-----------------	----------------------	-----------	--------	------	---

Journal of the American Ceramic Society

42313	Sumin Im	104 (2021) 4803-4818	2018A3783	BL22XU	兼松 学	Temperature Effects on Local Structure, Phase Transformation, and Mechanical Properties of Calcium Silicate Hydrates
-------	----------	-------------------------	-----------	--------	------	--

Journal of the Electrochemical Society

42279	Hiroyuki Fujimoto	168 (2021) 080508	2016A7602	BL28XU	小久見 善八	Synchronized Operando Analysis of Graphite Negative Electrode of Li-Ion Battery
			2016B7603	BL28XU	松原 英一郎	
			2017A7603	BL28XU	松原 英一郎	
			2017B7603	BL28XU	松原 英一郎	
			2018A7603	BL28XU	松原 英一郎	
			2019A7613	BL28XU	安部 武志	
2019B7613	BL28XU	安部 武志				

Journal of the Japan Petroleum Institute

42335	Daichi Hata	64 (2021) 280-292	2019B1796	BL01B1	相原 健司	Lactic Acid Production from Glucose over Y_2O_3 -based Catalysts under Base-free Conditions
-------	-------------	----------------------	-----------	--------	-------	---

Journal of the Magnetics Society of Japan

42427	Keita Ito	43 (2019) 79-83	2018A1028	BL25SU	水口 将輝	Fabrication of $L1_{1-x}Fe_xNi$ Films by Denitrifying $FeNiN$ Films
			2018A4914	BL15XU	水口 将輝	
			2018B4901	BL15XU	水口 将輝	

Journal of Virology

42359	Kosuke Oda	95 (2021) 00815-21	2014A1143	BL38B1	坂口 剛正	Structural Insight into the Interaction of Sendai Virus C Protein with Alix To Stimulate Viral Budding
			2018B2720	BL26B1	小田 康祐	
			2018B6868	BL44XU	小田 康祐	
			2019B6908	BL44XU	小田 康祐	

Materials & 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
42174	Hiroyuki Saitoh	208 (2021) 109953	2016A3652	BL14B1	齋藤 寛之	Hydrogen Storage by Earth-abundant Metals, Synthesis and Characterization of Al ₃ FeH _{3,9}
			2018A3651	BL14B1	齋藤 寛之	
			2018B3651	BL14B1	齋藤 寛之	
			2019A3651	BL14B1	齋藤 寛之	
			2019B3651	BL14B1	齋藤 寛之	
2020A3651	BL14B1	齋藤 寛之				

Materials and Corrosion

42097	Masamitsu Takahashi	(2021) Online published: 12 Jul. 2021	2020A5050	BL16XU	出口 博史	Corrosion Behavior of Carbon Steel Coated with a Zinc-Rich Paint Containing Metallic Compounds under Wet and Dry Cyclic Conditions
-------	---------------------	---------------------------------------	-----------	--------	-------	--

Materials Research Express

42193	Hiroko Yokota	8 (2021) 086402	2017B3844	BL23SU	横田 紘子	Element-specific Magnetic Hysteresis Loops Observed in Hexagonal ErFeO ₃ Thin Films
			2017B3551	BL11XU	三井 隆也	
			2018A3551	BL11XU	三井 隆也	

Materials Science and Engineering: A

42116	Md. Shahnewaz Bhuiyan	793 (2020) 139423	2013B1324	BL20XU	戸田 裕之	Damage Micromechanisms in High Mn and Zn Content 7XXX Aluminum Alloys
			2014A1018	BL20XU	戸田 裕之	
			2014B1157	BL20XU	戸田 裕之	

Materials Transactions

42115	Hiro Fujihara	62 (2021) 636-641	2015A0076	BL20XU	戸田 裕之	Assessment of Hydrogen Accumulation Behavior in Al-Zn-Mg Alloy under Strain with Kelvin Force Microscopy
-------	---------------	----------------------	-----------	--------	-------	--

Metallurgical and Materials Transactions A

42134	Akira Taniyama	48 (2017) 4821-4830	2002A0711	BL19B2	谷山 明	Deformation Behavior of Cementite in Deformed High Carbon Steel Observed by X-ray Diffraction with Synchrotron Radiation
			2003A0139	BL19B2	谷山 明	

Metallurgical and Materials Transactions B

42147	Sohei Sukenaga	52 (2021) 1945-1949	2017B1400	BL04B2	助永 壮平	Reconsideration of Viscosity Variation Mechanism in Calcium Ferrite Melt During Isothermal Melting Process
-------	----------------	------------------------	-----------	--------	-------	--

Microporous and Mesoporous Materials

42275	Kazu Okumura	325 (2021) 111336	2019B1325	BL01B1	奥村 和	Spontaneous Formation and Catalysis of Highly Dispersed Pd ⁰ on *BEA Zeolite
			2020A1518	BL01B1	奥村 和	

Nano Letters

42261	Emma Berger	21 (2021) 6095-6101	2019B8066	BL1	Schwartz Craig	Extreme Ultraviolet Second Harmonic Generation Spectroscopy in a Polar Metal
-------	-------------	------------------------	-----------	-----	----------------	--

Nanoscale

42415	Tokuhiisa Kawawaki	13 (2021) 14679-14687	2020A0695	BL01B1	川脇 徳久	Simple and High-yield Preparation of Carbon-black-supported ~1 nm Platinum Nanoclusters and Their Oxygen Reduction Reactivity
			2020A1219	BL01B1	山添 誠司	
			2020A1410	BL01B1	平山 純	

Nature

42251	Xi Lin	579 (2020) 152-157	2018B2704	BL41XU	Xu Fei	Structural Basis of Ligand Recognition and Self-activation of Orphan GPR52
-------	--------	-----------------------	-----------	--------	--------	--

Nature Microbiology

42397	Olesia I. North	4 (2019) 1645-1653	2013B6500	BL44XU	山下 栄樹	Phage Tail Fibre Assembly Proteins Employ a Modular Structure to Drive the Correct Folding of Diverse Fibres
			2014A6500	BL44XU	山下 栄樹	
			2014B6500	BL44XU	山下 栄樹	

Peptide Science 2020

42077	Sho Kobayashi	(2021) 151-154	2020A1641	BL43IR	鈴田 和之	The Changing Dynamics of Bound Water and Protein in Human Hair Caused by Bleaching
			2019B1733	BL43IR	菊地 哲宏	

Physica B

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
42099	Kenji Tarui	619 (2021) 413158	2016B1226	BL01B1	山本 知之	Origin of Room-temperature Ferromagnetism in Co-doped CeO ₂

Physica Status Solidi - Rapid Research Letters

42295	Takao Shimizu	15 (2021) 2000589	2019A4700	BL15XU	清水 荘雄	Electric-Field-Induced Ferroelectricity in 5%Y-doped Hf _{0.5} Zr _{0.5} O ₂ : Transformation from the Paraelectric Tetragonal Phase to the Ferroelectric Orthorhombic Phase
-------	---------------	----------------------	-----------	--------	-------	---

Physical Review A

42163	Mizuho Fushitani	104 (2021) 023102	2020A8049	BL1	伏谷 瑞穂	Time-resolved Shot-by-shot Photoelectron Spectroscopy of Autoionizing Xe ⁺ States by EUV-free-electron-laser and Near-IR Laser Pulses
			2017B8081	BL1	伏谷 瑞穂	
			2018B8028	BL1	伏谷 瑞穂	
			2016B8018	BL1	彦坂 泰正	

Physical Review Letters

42259	Michihiro Nagao	127 (2021) 078102	2018B1491	BL09XU	長尾 道弘	Relationship between Viscosity and Acyl Tail Dynamics in Lipid Bilayers
			2017B1512	BL09XU	長尾 道弘	

Physical Review Materials

42127	Kou Takubo	5 (2021) 075002	2018B7577	BL07LSU	田久保 耕	Spin-orbital Liquid in Ba ₃ CuSb ₂ O ₉ Stabilized by Oxygen Holes
			2015A7401	BL07LSU	松田 巖	
			2018B1449	BL47XU	Zhang Yujun	

Physical Review Research

42391	Takeshi Suzuki	3 (2021) 033222	2017B8067	BL3	松田 巖	Ultrafast Optical Stress on BaFe ₂ As ₂
-------	----------------	--------------------	-----------	-----	------	---

Polymer

42091	ChaoHung Cheng	229 (2021) 124003	2018B1036	BL19B2	高原 淳	Dynamics of Matrix-free Nanocomposites Consisting of Block Copolymer-grafted Silica Nanoparticles under Elongation Evaluated through X-ray Photon Correlation Spectroscopy
-------	----------------	----------------------	-----------	--------	------	--

Review of Scientific Instruments

42188	Kouichi Hayashi	92 (2021) 083703	2018A1214	BL39XU	細川 伸也	A Cryostat Designed for X-ray Fluorescence Holography Experiments down to 4 K
-------	-----------------	---------------------	-----------	--------	-------	---

Science and Technology of Advanced Materials

42191	Takashi Horikawa	22 (2021) 729-747	2018A1645	BL02B2	山崎 理央	Recent Progress in the Development of High-performance Bonded Magnets using Rare Earth-Fe Compounds
-------	------------------	----------------------	-----------	--------	-------	---

Science Bulletin

42252	Qing Wang	65 (2020) 1743-1751	2019A1253	BL01B1	Waterhouse Geoffrey	Evolution of Zn(II) Single Atom Catalyst Sites during the Pyrolysis-induced Transformation of ZIF-8 to N-doped Carbons
-------	-----------	------------------------	-----------	--------	---------------------	--

Separation and Purification Technology

42381	Natsuki Hayashi	277 (2021) 119536	2016B3554	BL11XU	瀬古 典明	Chromium(VI) Adsorption-Reduction using a Fibrous Amidoxime-Grafted Adsorbent
			2017A3554	BL11XU	瀬古 典明	
			2017B3554	BL11XU	瀬古 典明	
			2018A3656	BL14B1	瀬古 典明	
			2018B3656	BL14B1	瀬古 典明	
			2019A3656	BL14B1	瀬古 典明	

SID Symposium Digest of Technical Papers

42435	Yusaku Magari	52 (2021) 1096-1099	2019B1746	BL47XU	曲 勇作	Activation of IGZO Devices at 150°C via Reduction Process Using Hydrogen Gas During Sputtering
			2018B1669	BL47XU	曲 勇作	

STAR Protocols

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
42382	Shotaro Kamata	2 (2021) 100364	2017A2530	BL26B1	大山 拓次	Preparation of Co-crystals of Human PPAR α -LBD and Ligand for High-resolution X-ray Crystallography
			2018A2558	BL38B1	大山 拓次	
			2020A2582	BL45XU	大山 拓次	

Symmetry

42112	Soichi Kikkawa	13 (2021) 1267	2019B1464	BL01B1	平山 純	Base Catalysis of Sodium Salts of [Ta ₆ Nb ₃ O ₁₉] ³⁻ Mixed-Oxide Clusters
			2019B1166	BL02B2	山本 隆文	
			2020A0715	BL01B1	山添 誠司	
			2020A1068	BL02B2	山本 隆文	
			2020A1219	BL01B1	山添 誠司	
			2020A1851	BL36XU	山添 誠司	

Zeitschrift für Anorganische und Allgemeine Chemie

42327	Kota Shitamatsu	647 (2021) 1239-1244	2020A1795	BL02B1	小島 達弘	Structural Characterization of Cerium-encapsulated Preyssler-type Phosphotungstate: Additional Evidence of Ce(III) in the Cavity
-------	-----------------	-------------------------	-----------	--------	-------	--

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

42299	Hajime Tanida	52 (2021) 69-80	2019B3713	BL22XU	谷田 肇	Development of Fluorescence XAFS Imaging Using Pinhole Camera
			2020A3712	BL22XU	谷田 肇	

オレオサイエンス (Oleosience)

42406	Tomokazu Yoshimura	20 (2020) 425-430	2016A1758	BL19B2	吉村 倫一	Amino Acid Surfactants with Hydroxy Group
-------	--------------------	----------------------	-----------	--------	-------	---

軽金属 (Journal of Japan Institute of Light Metals)

42233	Masahiro Hirata	71 (2021) 343-348	2016A1728	BL19B2	足立 大樹	Effect of Precipitation Size on Dislocation Density Change during Tensile Deformation in Al-Zn-Mg Alloy
			2017B1023	BL19B2	足立 大樹	
			2019A1744	BL19B2	足立 大樹	

色材協会誌 (Journal of the Japan Society of Colour Material)

42409	Tomokazu Yoshimura	93 (2020) 91-98	2014A1456	BL40B2	吉村 倫一	Quaternary-Ammonium-Salt-Type Amphiphilic Ionic Liquids
-------	--------------------	--------------------	-----------	--------	-------	---

低温生物工学会誌 (Cryobiology and Cryotechnology)

42197	Masaru Nakada	67 (2021) 15-22	2019A3205	BL24XU	中田 克	Study of Intracellular Ice Structure during Cryopreservation Process using Polyvinyl Pyrrolidone as Cryoprotectant Agent
-------	---------------	--------------------	-----------	--------	------	--

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

42438	Kohei Morishita	60 (2021) 162-166	2019A1434	BL20XU	森下 浩平	In-situ Observation of Melting and Solidification Behaviors of Cu Powder Caused by Laser Irradiation
			2018B1411	BL20XU	森下 浩平	

日本化粧品技術者会誌 (Journal of the Society of Cosmetic Chemists of Japan)

42363	Akinori Nakano	55 (2021) 281-287	2018A1460	BL40B2	鳥飼 直也	Development of a Novel Technique Formulating "Pearl" Luster
			2019A1595	BL40B2	鳥飼 直也	

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

42146	Takeshi Watanabe	48 (2021) 48-2-5	2015B1908	BL46XU	渡辺 剛	Development of In Situ Measurement Systems for Characterizations of Organic Thin Film Transistor
			2016A1556	BL46XU	渡辺 剛	
			2016A1679	BL46XU	廣内 大地	
			2016B1884	BL46XU	渡辺 剛	
			2017B1920	BL14B2	渡辺 剛	
			2017A1608	BL46XU	渡辺 剛	
			2017A1783	BL46XU	渡辺 剛	
			2018A2065	BL19B2	渡辺 剛	
			2020A1892	BL46XU	渡辺 剛	
			2021A2031	BL19B2	渡辺 剛	

博士論文 (Technische Universität Dortmund)

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
42253	Mirko Elbers	(2021)	2016B1265	BL08W	Sternemann Christian	The Microscopic Structure of Water under Extreme Conditions

博士論文 (University of Science and Technology of China)

42269	Tao Xiong	(2020)	2019A4275	BL12XU	Zhu LinFan	The Study of the Dynamic Parameters of H ₂ , D ₂ and N ₂ by Inelastic X-ray Scattering
-------	-----------	--------	-----------	--------	------------	---

博士論文 (千葉大学)

42311	Tomoaki Kumeda	(2020)	2018B1679	BL13XU	久米田 友明	燃料電池反応を活性化させる電気二重層に関する研究
-------	-------------------	--------	-----------	--------	--------	--------------------------

博士論文 (東京大学)

42120	Shun Hayashi	(2019)	2018A1675	BL28B2	林 峻	Elucidation of Key Structural Factors of Group 5 Metal Oxide Clusters for Base Catalytic Application
-------	-----------------	--------	-----------	--------	-----	--

博士論文 (東京工業大学)

42277	Ryo Watari	(2020)	2017B5350	BL16B2	野口 真一	Development of Ru and Cu Catalysts Supported by Nitrogen Heterocycle Structures and Their Application to Hydrogenation of Carbon Oxygen Unsaturated Bonds
			2018A5350	BL16B2	野口 真一	
			2018B5350	BL16B2	野口 真一	
			2019A5350	BL16B2	野口 真一	

博士論文 (東京理科大学)

42176	Haruno Kunioka	(2020)	2019B1748	BL02B2	國岡 春乃	Development of Zintl Phase Thermoelectric Materials using Anharmonic Lattice Vibration
-------	-------------------	--------	-----------	--------	-------	--

博士論文 (奈良先端科学技術大学院大学)

42437	Hiroki Momono	(2020)	2018A1685	BL13XU	桃野 浩樹	Development of Simple Display-type VD-WAAEL Analyzer
-------	------------------	--------	-----------	--------	-------	--

博士論文 (明治大学)

42159	Ryo Yokogawa	(2020)	2018B1718	BL13XU	横川 凌	Study on Phonon Properties of Si and SiGe Fine Structures for Next-Generation Thermoelectric Device
-------	-----------------	--------	-----------	--------	------	---

課題以外の成果として登録された論文

Journal of Molecular Biology

研究成果番号	主著者	雑誌情報		ビームライン	タイトル
42093	Nobutada Tanaka	356 (2006) 312-324		BL38B1	Crystal Structures of Mouse Autocrine Motility Factor in Complex with Carbohydrate Phosphate Inhibitors Provide Insight into Structure-Activity Relationship of the Inhibitors
42094	Narandalai Danshiitsoodol	360 (2006) 398-408		BL38B1	The Mitomycin C (MMC)-binding Protein from MMC-producing Microorganisms Protects from the Lethal Effect of Bleomycin: Crystallographic Analysis to Elucidate the Binding Mode of the Antibiotic to the Protein
42102	Yuichiro Kezuka	358 (2006) 472-484		BL41XU	Structural Studies of a Two-domain Chitinase from <i>Streptomyces griseus</i> HUT6037
42144	Takeshi Yokoyama	356 (2006) 790-801		BL41XU	R-state Haemoglobin with Low Oxygen Affinity: Crystal Structures of Deoxy Human and Carbonmonoxy Horse Haemoglobin Bound to the Effector Molecule L35
42341	Kunishige Kataoka	373 (2007) 141-152	理研	BL26B2	Structure and Function of the Engineered Multicopper Oxidase CueO from <i>Escherichia coli</i> —Deletion of the Methionine-Rich Helical Region Covering the Substrate-Binding Site

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
42104	Masamichi Nagae	281 (2006) 35884-35893		BL41XU	Crystal Structure of the Galectin-9 N-terminal Carbohydrate Recognition Domain from <i>Mus musculus</i> Reveals the Basic Mechanism of Carbohydrate Recognition
42126	Tadashi Satoh	281 (2006) 10410-10419		BL41XU	Structures of the Carbohydrate Recognition Domain of Ca ²⁺ -independent Cargo Receptors Emp46p and Emp47p
42318	Dhirendra K. Simanshu	281 (2006) 39630-39641		BL44XU	Crystal Structures of <i>Salmonella typhimurium</i> Biodegradative Threonine Deaminase and Its Complex with CMP Provide Structural Insights into Ligand-induced Oligomerization and Enzyme Activation
42340	Kimiko Hasegawa	282 (2007) 24777-24783	理研	BL26B2	A Novel Subunit Structure of <i>Clostridium botulinum</i> Serotype D Toxin Complex with Three Extended Arms

Biochemistry

42125	Rohini Qamra	45 (2006) 6997-7005		BL41XU	The 2.15 Å Crystal Structure of <i>Mycobacterium tuberculosis</i> Chorismate Mutase Reveals an Unexpected Gene Duplication and Suggests a Role in Host-Pathogen Interactions
42316	T. Mallett	45 (2006) 11278-11289		BL44XU	Structure of Coenzyme A–Disulfide Reductase from <i>Staphylococcus aureus</i> at 1.54 Å Resolution

Faraday Discussions

42128	Felix Allum	228 (2021) 571-596		XFEL	Multi-channel Photodissociation and XUV-induced Charge Transfer Dynamics in Strong-Field-Ionized Methyl Iodide Studied with Time-resolved Recoil-frame Covariance Imaging
-------	-------------	-----------------------	--	------	---

The Journal of Biochemistry

42356	Ryosuke Asai	141 (2007) 525-534		BL38B1	Two Mutations Convert Mammalian Xanthine Oxidoreductase to Highly Superoxide-productive Xanthine Oxidase
-------	--------------	-----------------------	--	--------	--

Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics

42319	Yoshiaki Kumagai	54 (2021) 044001	装置&技術	SACLA	Suppression of Thermal Nanoplasma Emission in Clusters Strongly Ionized by Hard X-rays
-------	------------------	---------------------	-------	-------	--

Nature Structural and Molecular Biology

42153	Satoshi Hirano	13 (2006) 1031-1032		BL41XU	Structural Basis of Ubiquitin Recognition by Mammalian Eap45 GLUE Domain
-------	----------------	------------------------	--	--------	--

Nucleosides, Nucleotides and Nucleic Acids

42317	Jiro Kondo	25 (2006) 693-704		BL44XU	Crystal Structure of d(gcGXGAgc) with X = G: a Mutation at X is Possible to Occur in a Base-Intercalated Duplex for Multiplex Formation
-------	------------	----------------------	--	--------	---

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

42339	Yoshitaka Bessho	104 (2007) 8293-8298	理研	BL26B1	Structural Basis for Functional Mimicry of Long-variable-arm tRNA by Transfer-messenger RNA
-------	------------------	-------------------------	----	--------	---

Protein Science

42087	Karuppasamy Manikandan	15 (2006) 1951-1960	理研	BL26B1	Crystal Structures of Native and Xylosaccharide-bound Alkali Thermostable Xylanase from an Alkalophilic <i>Bacillus</i> sp. NG-27: Structural Insights into Alkalophilicity and Implications for Adaptation to Polyextreme Conditions
-------	------------------------	------------------------	----	--------	---

2021A 期における SPring-8/SACLA ユーザー要望等について

登録施設利用促進機関

公益財団法人高輝度光科学研究センター
利用推進部

SPring-8 および SACLA では、各ビームタイム終了後に実験グループごとに「ビームタイム終了届」を提出いただいております。ビームタイム終了届には、次回の利用者へのアドバイスや施設に対する要望、提案等を記入いただいております。

2021A 期における要望等の状況は下記のとおりです。これら要望等と、それに対する施設側の回答（内容により、必ずしも全てではありません）につきましては、User Information で公開されています。

1. 2021A 期 要望等全体概要

2021A 期	実施課題数	利用実験数 (報告書数)	うち、要望等コメントがある ^{*1} 報告書数		
			技術的 要望等	施設他 要望等	その他 (お礼)
SPring-8 共用 BL	678	1,027	30	23	115
SACLA 共用 BL	44	49	13		

^{*1} 「なし」「None」等のコメントを除く。

<SPring-8 共用 BL 技術的要望等 (計 30 件) の研究分野/手法^{*2} 別内訳>

分野/手法	生命科学 医学応用	物質科学 材料科学	化学	地球・ 惑星科学	環境科学	産業利用
X線回折	4	2	6	1		7
X線散乱			1			
X線非弾性散乱		1				
X線・軟X線吸収分光		1				
光電子分光		3				
X線イメージング						2
その他			2			

^{*2} 課題申請時の利用者申告ベース。

2. 2021A 期 要望等の内容 (一部抜粋)

(1) 技術的要望等

○マッピング機能のおかげで測定位置の決定がスムーズに行え、実験が順調に進んだ。ただし、マッピング終了時の試料の位置がマッピング開始位置と異なる（開始時：中央、終了時：右上の端）。この違いがXYZT軸制御ソフトの位置表示に自動的に反映されないため、試料位置の誤認がおきた。マッピング終了時に、試料の位置が原点(マッピング開始の位置)

に自動で戻るようにしてもらえると助かります。

【物質科学/光電子分光】

- クラウドでのデータ転送を可能にしてほしい。HDD のやり取りはもはや世界標準ではないし、SPring-8 でも実施していただきたい。ビームタイムに幅を持たせて、決まった日にサンプルを集めるスケジュールは、送る側としては希望しないスケジュールになったときに、測定間がタイトになって困る。

【産業利用 (PX-BL) /X 線回折】

- 装置のオペレーションシステムが大変使用しやすくなっており、効率的に測定を行うことができました。FPD 検出器の 2D 像を、タイムラグが小さく且つコマ落ちなく、ライブイメージとして表示できる機能があれば、加熱中の試料の状態観察、測定場所決め等が簡便になり、さらに便利になると思いました。

【地球・惑星科学/X 線回折】

- 高温電気炉を利用した自動測定システムを使わせていただきました。ベータ版ということでしたが、サンプル位置の調整と入射 X 線の強度調整は非常にうまくできていました。

【物質科学/X 線回折】

(2) 施設その他要望等

- 各宿泊棟の入り口に体温センサーを設置してほしい。
- 自動販売機も交通系 IC カードで支払いできるようになると便利かと思えます。また、以前より BL26B1 周辺は携帯電話の電波が入りづらいです。可能なら改善されると助かります。
- ビームラインと宿所の両方にて、eduroam のネットワークが接続しにくい状況でしたので、改善していただけたらありがたいです。
- ウェブカメラやスピーカーなど、遠隔での実験参加、ディスプレイに必要な機器が備品として用意されていたのは助かりました。朝食を充実していただけるとありがたいです。各部屋に消臭剤が欲しいです(衣類用)。

HAXPES ビームライン BL09XU の性能

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

1. 新しいBL09XUの概要

これまで硬 X 線光電子分光 (HAXPES) 実験は、BL09XU と BL47XU に分散して実施されるとともに、各ビームラインは他の手法との相乗りで運用されてきた。ビームライン再編の第一弾として、2021 年度に BL47XU の HAXPES アクティビティが BL09XU に移設され、BL09XU は HAXPES 専用ビームラインとして再整備が行われた。また、再編に合わせて光学系も HAXPES 実験に最適化され、HAXPES の測定性能が大幅にアップグレードされた。なお、2019 年度まで BL09XU において HAXPES と相乗りであった核共鳴散乱 (NRS) 実験は、2021 年度に BL35XU に移設されている。

アップグレード後のビームラインレイアウトを図 1 に示す。本アップグレードのポイントは以下のとおりである。

① 2 つの異なる特徴を持った光電子アナライザーを実験ハッチ (EH) 1 と 2 にそれぞれ配置した。EH1

のアナライザーは 12 keV までの光電子取得が可能であり、表面からより深い領域の電子状態観測が可能である。一方、EH2 のアナライザーは、±32°の光電子取込角を有し、角度分解測定により、表面からバルクまでの深さを分解した電子状態を一度に分析できる。

- ② 光学ハッチには高分解能チャンネルカットモノクロメータ (CCM) である Si (333/444/555) に加え、Si (220/311) のダブル CCM (DCCM) を導入した。DCCM を利用することにより、エネルギー掃引時の定位置出射化が可能となった。さらに、広範なエネルギー領域で高い縦偏光度 (> 90%) を実現する 2 連のダイヤモンド移相子 (DXPR) 機構を導入した。
- ③ EH1 には Wolter 集光ミラーを導入した。高フラックスのマイクロビームを安定的に利用できるだけでなく、再集光時の再現性が非常に高い特徴を持つ。

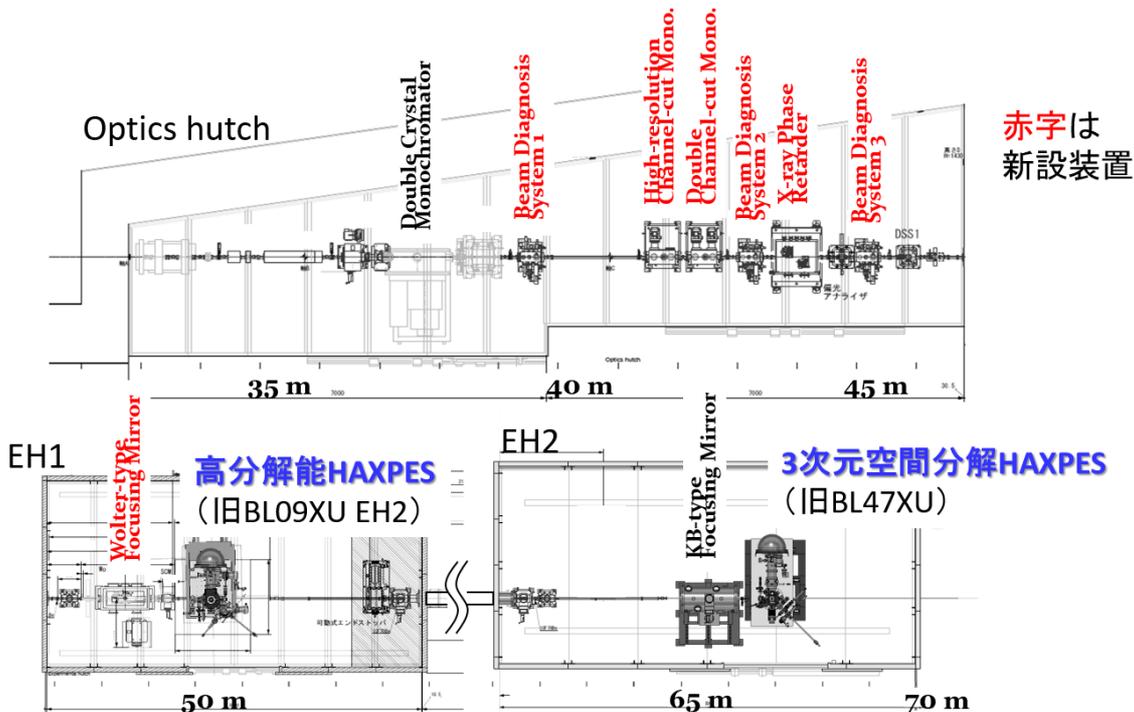


図 1 新しいBL09XUのビームラインレイアウト

④ 新たな制御系として、「BL774」が導入された。BL774 は、ほぼ全ての光学系機器・HAXPES 機器・試料ステージを同じプラットフォーム上で制御できる。これにより、機器間連携が容易になり、より高度な計測技術開発が可能になる。さらに、将来の自動計測実現につながるなどユーザビリティが向上する。

本稿では、特に、EH1 の高分解能 HAXPES 装置による共鳴 HAXPES 計測、および、EH2 の三次元空間分解 HAXPES 装置を用いた局所電子状態解析に関する整備状況について報告する。

2. 共鳴 HAXPES 計測に関する整備状況 (EH1)

これまでに、BL09XU では吸収端近傍でエネルギー掃引を行う共鳴 HAXPES 計測を開発し、元素・価数選択性を強化した電子状態解析環境が、パワーユーザーとの連携により整備されてきた¹¹⁾。従来は、高エネルギー分解能モノクロメータに CCM を用いていたため、エネルギー分解能掃引時に入射光の高さが変動するという問題があった。本アップグレードにおいて、2つの CCM を組み合わせた DCCM が導入されたことにより、エネルギー掃引時の入射光の定位置出射の問題が解決された。

共鳴 HAXPES 計測の現状の主な利用分野は、強相関電子系物質である。その解析には、3d 系の K 吸収端、4f、5d 系の L3 吸収端をカバーする E = 4.9 keV ~ 12 keV において、HAXPES アナライザーの分解能も含めた全エネルギー分解能が 300 meV 以下である

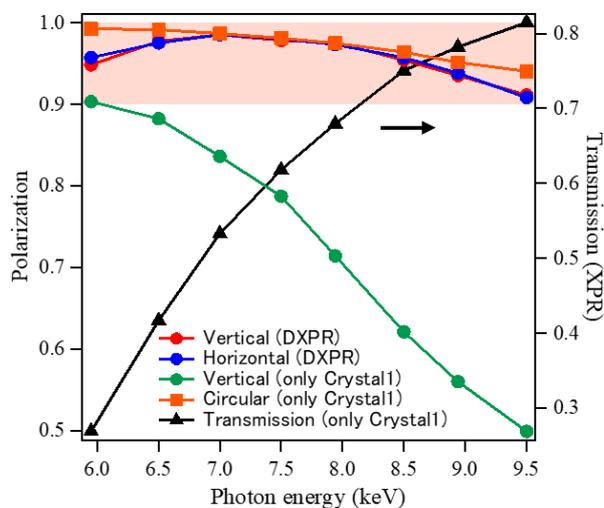


図2 入射光エネルギーと各偏光状態の偏光度とX線透過率の関係 (t = 0.2 mm, 220 Laue 反射, DCCM220)

ことが求められる。これを満たすために、Si (220/311) の2組の DCCM をエネルギー帯に応じて切り替える方式を採用した。

さらに、ダイヤモンド移相子による偏光制御と共鳴 HAXPES 計測を組み合わせることで、電子軌道対称性を強化した解析が可能である。DXPR が導入されたことにより、E = 4.9 keV ~ 12 keV の広いエネルギー領域において、高い縦偏光度を維持することが可能となった。非共鳴条件での DXPR 利用は、すでに BL19LXU で行われており¹²⁾、その機器を参考に再設計し BL09XU に導入した。コミッシュニング実験で得られた円・縦偏光度の入射光エネルギー依存性を図2に示す。厚さ 0.2 mm の2枚のダイヤモンド結晶を用いることで、少なくとも、5.95 keV ~ 9.5 keV の間で 0.9 以上の非常に高い縦偏光度が得られた。また、円偏光に関しては、1枚の 0.2 mm 厚の結晶で同領域において、0.9 以上の円偏光度が得られている。DXPR と共鳴 HAXPES 計測を組み合わせることで、軌道対称性と元素・価数を選別したこれまでに無い化学結合状態解析が可能になった。偏光依存共鳴 HAXPES 計測は、すでに 2021B 期のユーザー実験に利用されている。

3. 三次元空間分解 HAXPES 計測に関する整備状況 (EH2)

近年、複合材料中の粒界物質やデバイス中の電極間電子状態など幅広い分野で局所電子状態解析のニーズが高まっている。これまで、BL47XU の HAXPES においては、Kirkpatrick-Baez (KB) ミラーを用いた 1 μm (V) × 5 μm (H) のマイクロ集光ビームを利用した局所 HAXPES 計測が行われてきた。さらに、BL47XU の HAXPES アナライザーは前段に ±32° の広い光電子取込みを可能にする広角対物レンズを有しており、角度分解測定を行うことで、表面から深さ 20 nm 程度の化学結合状態分布を得ることができるという特徴を持つ。この深さ分解測定とマイクロ集光ビームとを組み合わせることで三次元空間分解した解析が可能であった¹³⁾。この装置を 2021A の BL47XU における全 HAXPES 実験終了後に BL09XU の EH2 に移設した。集光系には、EH2 に既設の長尺の KB ミラーを利用する。長尺ミラーであるため、フロントエンドスリットを大きく開けた状態 (0.65 mm (V) × 1.2 mm (H)) でも、ほぼビームの取りこぼし無く、

6.3×10^{12} photon/s 以上の非常に明るいマイクロ集光ビームを利用可能である。この場合の集光サイズは、 $1.5 \mu\text{m}$ (V) \times $11 \mu\text{m}$ (H) である。さらに、フロントエンドスリット幅を 0.03 mm まで狭めることで、集光ビームの横幅を $1 \mu\text{m}$ に縮小できる。フロントエンドスリットを狭めるためフラックスは減少するが、それでも 1.3×10^{11} photon/s 程度のフラックスが得られ、BL47XU での $1 \mu\text{m}$ (V) \times $5 \mu\text{m}$ (H) と比べて約 1.5 倍のフラックスの $1 \mu\text{m}$ 集光ビームが利用可能であることが確認された。この $1 \mu\text{m}$ 集光ビームを利用して、 SiO_2 基板上に $10 \mu\text{m}$ 角の Au パッチを格子状に配置した試料の局所電子状態測定を試行した (図 3)。Au パッチ間の SiO_2 基板領域にビーム照射し得られた HAXPES スペクトルには Au 由来の特徴的なピークが見えないことから、少なくとも $10 \mu\text{m}$ 程度の領域の局所電子状態解析が可能であることを示している。この位置で角度分解測定を行うことで、局所領域における深さ情報を得ることができる。

4. 最後に

EH1 と EH2 はタンデムに配置されている。そのため、下流側の EH2 で放射光を使用している間でも、EH1 装置の保守やユーザー実験の事前準備を行えると、ビームラインの運用効率が向上する。そこで、2022B 期には、EH2 実験中でも EH1 内に立ち入る作業が可能、アクセスモードを導入する予定である。さらに、SPRING-8-II での利用も見据えて、EH2 の集光ミラーは 100 nm 程度の集光ビーム利用のためにアップグレードすることも計画されている。

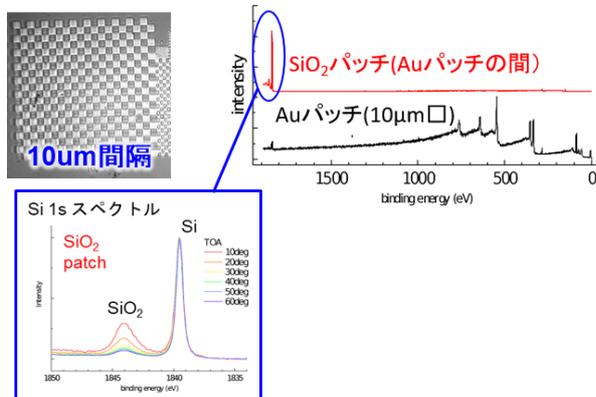


図 3 Au/ SiO_2 格子パターンの局所 HAXPES 解析。試料は兵庫県立大学の山口明啓教授、JASRI 大河内拓雄様から提供いただいた。

本アップグレードは、従来の共鳴 HAXPES 計測や集光ビームを利用した電子状態解析の性能向上にとどまらず、HAXPES 実験の可能性を大きく飛躍させることが期待される。BL09XU を利活用した、利用者からの新たな課題の提案を期待している。

謝辞

本ビームラインアップグレードには非常に多くの方々の御尽力をいただきました。光学系全般に関しては、特に、理化学研究所の大坂様、JASRI 光源基盤部門の大橋様、仙波様、山崎様、小山様、湯本様の御協力をいただきました。また、現場工事作業では、理化学研究所の菅原様、エンジニアリングチームの皆様、JASRI のテクニカルスタッフの皆様の御協力をいただきました。BL774 関連では、理化学研究所の本村様、中嶋様の御協力をいただきました。移相子の調整作業では JASRI の河村様の御協力をいただきました。本ビームラインアップグレード全体につきまして、理化学研究所の矢橋様、玉作様、JASRI の為則様の御協力をいただきました。この場を借りて御礼申し上げます。

参考文献

- [1] E. Ikenaga *et al.*: *Sync. Rad. News* **31** (2018) 10-15.
- [2] H. Fujiwara *et al.*: *J. Sync. Rad.* **23** (2016) 735-742.
- [3] E. Ikenaga *et al.*: *J. Electron Spectrosc. and Relat. Phenom.* **190** (2013) 180-187.

保井 晃 YASUI Akira

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

高木 康多 TAKAGI Yasumasa

(公財) 高輝度光科学研究センター
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

BL20B2 への多層膜分光器の導入

公益財団法人高輝度光科学研究センター

放射光利用研究基盤センター 散乱・イメージング推進室

上杉 健太郎、星野 真人

SPring-8 BL20B2 は光源から中尺ビームライン実験施設内にあるエンドステーションまで215 mの中尺ビームラインである¹⁾。主にX線マイクロCTや位相計測といったX線イメージング実験を実施している。いくつかの実験では高速度撮影や高空間分解能測定が求められ、建設当初からX線画像検出器の高効率化や高速化を進めてきた。これにより、2000年頃と比較してX線マイクロCTであれば撮影速度で約50倍、データ生成量では200倍の高速化が達成された。しかしながらこれらの開発が限界に近づき、さらなる高速化や高分解能化には、より高い光束密度のX線が必要ということが明らかになった。これを受け、2020年度に40 keVと110 keVの出力が可能な多層膜分光器が導入された。これは、従来のシリコンの二結晶分光器よりも100倍以上の光束密度を実現し、大面積高分解能イメージングや高速度撮影を実施するためのものである。40 keVは、主に血管造影や材料破

壊の高速現象をとらえること、110 keVは電子デバイスや比較的大きな化石などの高精細画像を得ることを目的としている。

図1に多層膜分光器導入前後の光学ハッチのレイアウトを示している。SPring-8標準型二結晶分光器(DCM)はそのまま残し、従来通りの実験も実施可能としている。多層膜分光器はその前後に配置させ、実験ハッチではDCMと同じ位置(床から1430 mmの高さ)をビームが通るようにしている。多層膜はW/B₄CをSi基板上に塗布したものを使用している。これにより光源から45 mの実験ハッチ1において、40 keVで 1.35×10^{12} ph/mm²/sec、110 keVでは 6.86×10^{10} ph/mm²/secの光束密度を実現し、それぞれシリコンの分光器よりも数百倍の光束密度となった。また、多層膜分光器の上流側には金属製の水冷フィルターを設置し、多層膜分光器への熱負荷低減及び全反射による低エネルギー成分の除去をさせている。

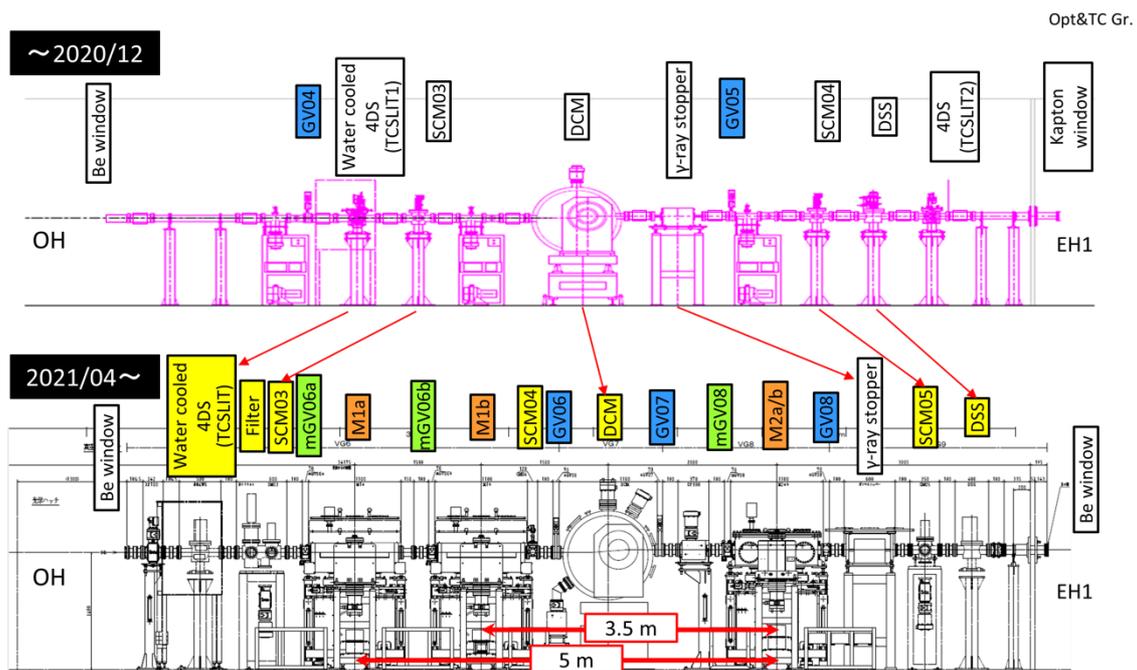


図1 多層膜設置前後の光学ハッチレイアウト (光源基盤部門提供)。

現在光学ハッチには、TC スリット (TC1 slit1)・水冷フィルター・多層膜分光器・シリコン二結晶分光器・下流シャッター (Downstream Shutter, DSS) が設置されている。これらのうち DSS を除く機器は新しい制御システムである BL-774 により制御されている。BL-774 に関しては、BL-USER-LAN 上の PC から Web ベースのブラウザアクセスを主として用いている。また xml-rpc ベースでの制御も可能となっているため、python 等の言語を用い、容易に制御可能である。

広い面積かつ高い光束密度のビームを利用したデモンストレーションとして、実験ハッチ 1 において高速撮影を実施した。試料はヒューズで、所定のタイミングで過電流を流す回路に接続している。図 2 には過電流によるヒューズ溶断の瞬間を示した。エネルギーは 40 keV、実効画素サイズは 3 $\mu\text{m}/\text{pixel}$ である。撮影は 5 kHz から 60 kHz まで数段階の速度で行った。画像検出器のカメラはフォトロン製 SA-Z を用いており、20 kHz までは 1024 \times 1024 画素での撮影が可能である。

この多層膜分光器および一連のシステムは 2021B から利用可能となっている。光源基盤部門の小山博士らによる本光学系の詳細報告および、担当者からのいくつかの試行実験事例報告を、2022 年 1 月開催の放射光学会^②や 2022 年 3 月開催の SRI^③で予定している。kHz 以上の速度での高速 X 線イメージングや高エネルギー・高精細 X 線イメージングを希望されている読者諸氏は、ぜひとも担当者にコンタクトしていただきたい。

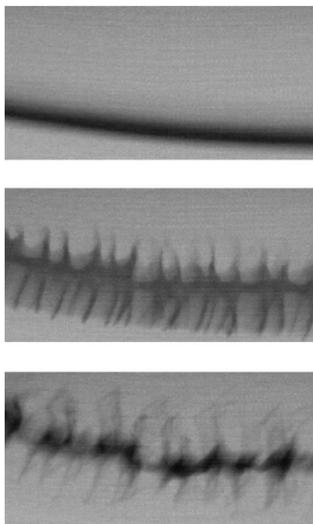


図 2 ヒューズ溶断の瞬間。50 μsec 毎に撮影。各画像の視野幅は 3 mm。

参考文献

- [1] S. Goto, K. Takeshita, Y. Suzuki, H. Ohashi, Y. Asano, H. Kimura, T. Matsushita, N. Yagi, M. Isshiki, H. Yamazaki, Y. Yoneda, K. Umetani and T. Ishikawa: “Construction and commissioning of a 215-m-long beamline at SPring-8” *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* **467-468** (2001) 682-685.
- [2] <http://www.jssr.jp/jsr2022/>
- [3] <https://www.sri2021.eu/>

上杉 健太郎 UESUGI Kentaro

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

星野 真人 HOSHINO Masato

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

核共鳴散乱を利用した実験の BL35XU 移転による アップグレードとコミッショニング

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、永澤 延元、バロン アルフレッド

1. はじめに

核共鳴散乱を利用した共同利用実験はビームライン再構築の先陣を切って、2021 年春に BL09XU から BL35XU に移転した。2021A にはコミッショニングが行われ、2021B からは共同利用を開始している。移転に伴い、フラックスの増強、幅広いエネルギー領域での集光、高分解能モノクロメータ出射エネルギーの安定化による実質的な分解能の向上、核種や測定手法の切替時間の短縮などのアップグレードが実現したのでここに報告する。

2. 光源・光学系

核共鳴散乱のほとんどすべての実験はシグナル強度が十分ではなく、試料への入射フラックスの増強はデータ精度の向上や測定条件・測定試料の増加に直結する。BL35XU の光源の最大の特徴は 20 mm の短周期アンジュレータである。32 mm の SPring-8 標準アンジュレータに比べて、 ^{57}Fe の 14.4 keV を含め核共鳴散乱で利用される多くの核種のエネルギーにおいて、2 倍以上の強度をもつ¹⁾。光学ハッチには液体窒素冷却のビームラインモノクロメータの下流に高分解能モノクロメータのための定盤、さらに下流には円筒面湾曲型ミラーが設置されている。定盤には核種やエネルギー分解能の迅速な切替が可能のように、6 つのゴニオメータがモータ退避が可能な形で置かれている。現在、 ^{57}Fe (3 つの分解能)、 ^{151}Eu 、 ^{119}Sn 、 ^{161}Dy 用の高分解能モノクロメータおよび ^{61}Ni や ^{174}Yb などの高エネルギー核種用の Si220 チャンネルカットが常設されている。また ^{149}Sm の利用も可能である。表 1 に分光後に得られた PIN フォトダイオードで測定されたフラックスを示す。ほとんどの分解能、核種で移

転前に比べ 2 倍以上のフラックスが実現している。

Pt をコーティングした円筒面湾曲型ミラーにより幅広いエネルギーでの集光が可能となっている。 ^{161}Dy の共鳴エネルギー 25.7 keV までは焦点距離 3 m、実験ハッチ 1 の上流壁からは 1.5 m の位置に集光され、約 50 μm のビームサイズとなる。 ^{61}Ni などの高エネルギー核種においては実験ハッチ 2 で集光ビームが得られる。

実験ハッチ 1 最下流には主にタンパク質の核共鳴非弾性散乱で利用される 0.8 meV の分解能を持つ ^{57}Fe 用モノクロメータが設置されている。高分解能モノクロメータからの出射エネルギーは光学素子の温度やメカニカルな微小回転に敏感であるため、実験ハッチ 1 および光学ハッチの高分解能モノクロメータ定盤は恒温の空気を送り出す空調機で精密空調されている。図 1 に実験ハッチ 1 の約半日の温度変化と 0.8 meV 高分解能モノクロメータからの出射エネルギーの変化を示すが、変動は ± 0.1 meV に収まっており、精度の高い測定が可能となっている。

表 1 BL35XU で測定された各種高分解能モノクロメータ後のフラックスおよび BL09XU との比較

Nuclei	Energy[keV] (Resolution)	Flux [$\times 10^{10}$ ph/s]	Factor [BL35/BL09]
^{57}Fe	14.4 (6 meV)	16	2.1
	14.4 (3.5 meV)	5.3	1.9
	14.4 (2.5 meV)	3.3	2.4
	14.4 (0.8 meV)	0.56	2.1
^{151}Eu	21.5 (1.2 meV)	1.5	3.2
^{119}Sn	23.9 (1.5 meV)	0.38	3.4
^{61}Ni	67.4 (~ 0.35 eV)	7.4	2.3

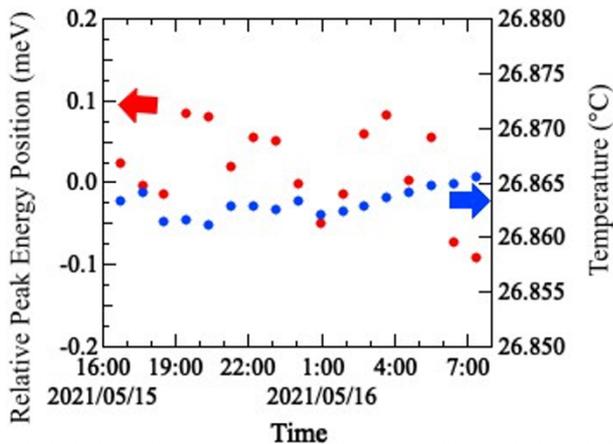


図1 実験ハッチ1の温度とハッチ下流の高分解能モノクロメータからの出射エネルギーの時間変化

3. 核共鳴散乱を利用した各種分光装置

BL35XU では核共鳴散乱を利用した異なる 3 つの手法、1) 放射光メスバウア分光 (時間領域ならびにエネルギー領域)、2) 核共鳴非弾性散乱、3) 時間干渉を利用した準弾性散乱実験がサポートされている。エネルギー領域メスバウア分光に利用されるアナライザは実験ハッチ 1 に、核共鳴非弾性散乱用のクライオスタットならびに準弾性散乱回折計は実験ハッチ 2 に常設されて、手法の切替時間を短くするとともに装置の信頼性を高めている。各分光装置のコミッショニングにおいてはユーザーも JASRI 外来研究員としてテスト実験に参加いただき、ミラーからの集光ビームを用いた DAC による高圧下での ^{57}Fe 時間領域メスバウア分光、超伝導マグネットを使った高エネルギー核種 ^{174}Yb でのエネルギー領域メスバウア分光、準弾性散乱実験などが行われた。いずれも増大したフラックスにより、より高精度なデータ取得やより短時間な測定が実現している。

4. まとめ

核共鳴散乱の共同利用実験の BL09XU から BL35XU への移転ならびにコミッショニングを行った。新たなビームラインでの実験であるため細かなトラブルはあったものの、全体としては順調に実施された。予想されたフラックスの増大が実現し、今後ユーザー実験でのデータ精度の向上や測定時間の短縮につながると期待される。ただし、14.4 keV より低いエネルギーや 29 keV から 43 keV のエネルギーは利

用できないため、 ^{169}Tm 、 ^{83}Kr 、 ^{229}Th 、 ^{40}K 、 ^{125}Te 、 ^{121}Sb などの実験には BL19LXU などの他のビームラインを利用することとなる。その場合でも JASRI スタッフのサポートは受けられるので BL35XU 核共鳴散乱の担当者にご相談いただきたい。

謝辞

上に述べた移転やコミッショニングは理研の大坂研究員、理研エンジニアリングチームを始めとする理研スタッフおよび JASRI 光源基盤部門、JASRI 技術支援チームを始めとする JASRI スタッフ、核共鳴散乱研究会を中心とするユーザーグループの方々のアイデアや協力を得て実現された。この場を借りてお礼申し上げたい。

参考文献

[1] Calculated by using SPECTRA (<http://cheiron2014.spring8.or.jp/SPECTRA/SPECTRA%20Home.htm>)

依田 芳卓 YODA Yoshitaka

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

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 : 0791-58-0803 ext 3395
e-mail : nagasawa@spring8.or.jp

バロン アルフレッド BARON Alfred

(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 3883
e-mail : baron@spring8.or.jp

利用系活動報告

放射光利用研究基盤センター タンパク質結晶解析推進室 測定技術開発チーム

公益財団法人高輝度光科学研究センター

放射光利用研究基盤センター タンパク質結晶解析推進室

長谷川 和也

1. はじめに

構造生物学分野においては構造研究の目的が多様化し、①膜タンパク質など良質な結晶を得ることが困難な試料の構造解析、②薬剤探索などを目的とした迅速自動構造解析、③生理条件下での構造解析、④反応の過程を追跡する時分割構造解析、⑤活性に重要な役割を果たす水素原子を可視化する高精度構造解析などが求められている。これらのニーズに対応するため、タンパク質結晶解析推進室 測定技術開発チームでは2本の共用ビームライン BL41XU・BL45XUの維持管理・利用支援に加えて、80%を共用に供出しているBL26B1(理研ビームライン)の利用支援を行っている。本稿では、これらのビームラインの運用と、ユーザー支援に資する測定技術開発について紹介する。

2. ビームラインの運用

BL41XUは、高強度X線を利用した膜タンパク質などの高難度試料の構造解析に用いられてきた。次に述べるビーム性能がほとんど同じBL45XUの運用開始後は生理活性温度での構造解析や時分割構造解析のための環境整備を進めている。自動化に向かない実験にも対応し、例えば、ヘリウムパスを利用して極低角反射の回折測定を行い、膜タンパク質の膜貫通部位をとり囲むリン脂質を可視化する研究などにも用いられている¹⁾。また実験ハッチが2つあり、下流側にある実験ハッチ2は波長0.7~1.9ÅのX線を用いた回折実験(通常モード)、上流のハッチ1は波長0.35~0.6ÅのX線を用いた回折実験(高エネルギーモード)に利用されている。このような高エネルギーX線を用いた回折実験ができるタンパク質結晶解析ビー

ムライン(PX-BL)は、国内ではBL41XUだけであり世界的にも珍しい。後述するように分解能0.8Åを超えるような構造研究などに利用され²⁾、BL41XUの特徴の1つとなっている。

BL45XUは、2019年に運用が始まった最新のPX-BLであり、全てのビームタイムがZOOシステム³⁾を用いたメールインによる自動測定で運用されている^{4,5)}。ビームサイズ5~50μmの高強度ビームを利用できることから、高難度試料の低品質結晶から回折能の高い水溶性タンパク質の結晶まで幅広いターゲットの自動測定が可能である。アカデミックユーザーに加えて、国内外の企業による利用が多いこともこのビームラインの特徴である。

BL26B1では、偏向電磁石ビームライン(BM-BL)の自由度を生かし、挿入光源ビームライン(ID-BL)では実施しにくい室温測定や汎用的な高分解能測定などに対応している。活性部位の化学状態を同定するための可視紫外顕微分光法と組み合わせた回折実験も可能である。また、我々の技術開発にも利用されており、ここで開発した技術をID-BLに展開する流れとなっている。

なおこれらビームラインの性能諸元は次のサイトを参照されたい。

http://bioxtal.spring8.or.jp/ja/blinfo/SPring8_PX_beamlines.pdf

3. 自動化・ハイスループット化のための技術開発

(1) サンプルチェンジャー

自動測定の基盤となるのがサンプルチェンジャーである。SPring-8のPX-BLのサンプルチェンジャーはSPACEと呼ばれ2000年代初頭に開発された⁶⁾。

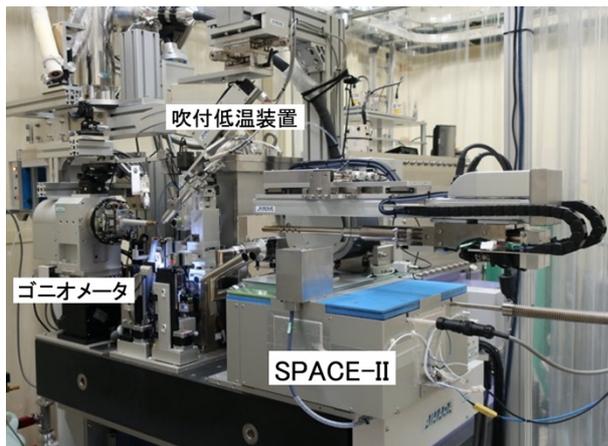


図1 サンプルチェンジャーSPACE-II

その後継続的に高性能化され、最新型のSPACE-II (図1) は、測定済みの試料を下ろすアームと新しい試料を載せるアームの2本のアームを備えることで1サイクルの動作での試料交換を実現し、交換に要する時間を60秒から16秒にまで短縮している^[7]。2017年にビームタイムの逼迫していたBL41XUで開発され、その後BL45XUを含む3本のPX-BLに導入されている。

試料交換の高速化やピクセルアレイ検出器 (PAD) の導入による測定時間の短縮、ZOOシステムによる測定の効率化に伴い、BL45XUでは1つのサンプルの測定が5分程度で終了する。しかし、SPACE-IIには、16個の測定試料を装着したサンプルカセットを8個しか搭載することができないことから、8~10時間に一度はスタッフによるサンプルカセットの交換が必要になり、高効率な自動測定を実施する中でボトルネックとなっている。これを解決するために、SPACE-IIに搭載されたサンプルカセットを自動交換するためのサンプル交換システムの開発も進んでいる。このシステムは、最大42個のサンプルカセットを液体窒素中に保管するサンプルカセットストックと、そこからサンプルカセットを搬送する多軸ロボットから構成される。多軸ロボットによるサンプルカセットのハンドリング技術は既に完成され、ZOOシステムと組み合わせたテストも始まっている。来年度には自動交換を用いた3日間程度の連続自動運転を開始する予定である。

この他、ゴニオメータに載せた凍結結晶に付着している霜を除去するための液体窒素滴下装置も開発し、ZOOシステムに組み込んで運用している^[8]。

(2) プレート回折法

プレート回折法は、タンパク質の結晶を析出させる結晶化プレートのままX線を照射し回折データを測定する手法である。このための専用の回折計と最大54枚のプレートを保管するプレートストッカー、さらにプレートを回折計まで搬送する多軸ロボットをBL26B1に整備している。

この方法は、100 K以下の凍結状態で行う通常の回折データ測定に比べてX線損傷の影響が大きいものの、抗凍結剤への浸透や凍結作業が不要であることから実験効率が良いというメリットがある。そのため、結晶化ロボットを用いて大規模結晶化スクリーニングで得られた結晶からのデータ測定に特に威力を発揮する。これまでに初期スクリーニングで得られた結晶からデータ測定を行い、構造解析の成功に至った例もある。数ミクロンの微小結晶のデータ測定を行うためBL45XUへの導入も進んでいる。

(3) 遠隔実験

JASRI 情報処理推進室の協力によりリモートデスクトップ方式の遠隔実験システムを立ち上げ、2020年度よりBL41XUとBL45XUでの運用を開始した。PX-BLでは2010年より遠隔実験システムの運用を実施してきた (遠隔実験システム ver1.0)^[9]。このシステムでは遠隔実験専用のソフトウェア (SP8Remote) をユーザーのPCにインストールして実験を行っていたが、オンサイト実験で提供しているソフトウェアの一部が利用できなかった。新しい遠隔実験システム (遠隔実験システム ver2.0) ではver1.0で培ったビームライン現場での安全を担保できる仕組みを受け継ぎつつ、リモートデスクトップNoMachine (<https://www.nomachine.com>) を用いることでオンサイトの実験とほぼ同じ環境で実験することができるようになった^[5,10]。コロナ禍で来所困難なユーザーが存在する中、新しい利用形態として活用されている。

4. 構造ダイナミクス・高精度構造解析に向けた開発

(1) 生理活性温度でのデータ測定

放射光ビームラインにおけるタンパク質結晶の回折データ測定は、ほとんどの場合X線照射損傷を低

減するために 100 K 以下の極低温で行われる。しかしながら、ある種のタンパク質では凍結状態と非凍結状態で活性部位の構造が異なる報告もされており、近年、非凍結状態での構造解析が注目されている。Humid Air and Glue-coating method (HAG) 法は、ポリビニルアルコール (PVA) などのポリマーで包埋した結晶に調湿気流を吹き付けることで非凍結状態の回折実験を実現した我々独自の測定手法である^[11]。吹き付ける調湿気流の温度を変える技術も開発し (図 2)^[12]、それを利用して SACLA を用いてチトクロム C 酸化酵素の中間体を捉えることにも成功している^[13]。また、結晶によっては吹き付ける湿度を最適化することで品質を大幅に改善することが可能であり、Post Crystallization Treatment 技術としても利用されている。PVA が抗凍結剤として働くため最適湿度で結晶を凍結することも可能であり、非常に多機能な測定技術である。BM-BL を用いて開発されたこの技術は、現在 BL41XU への導入が進んでいる。

(2) 微小結晶解析・時分割測定

Serial Synchrotron Rotation Crystallography (SS-ROX) 法は、サンプルループで多量の微小結晶を含んだ懸濁液をすくい上げ、それを回転させながら網羅的に X 線を照射して回折データを取得する測定手法であり、XFEL の Serial Femtosecond Crystallography (SFX) 法の成功を受けて放射光ビームラインで開発された。我々もこの手法に着目し、luciferin regenerating enzyme (LRE) の水銀誘導体結晶の異常分散を用いた構造解析により、試料を回転しながら測定する本手法は回転のない場合に比べて構造解析に必要な試料

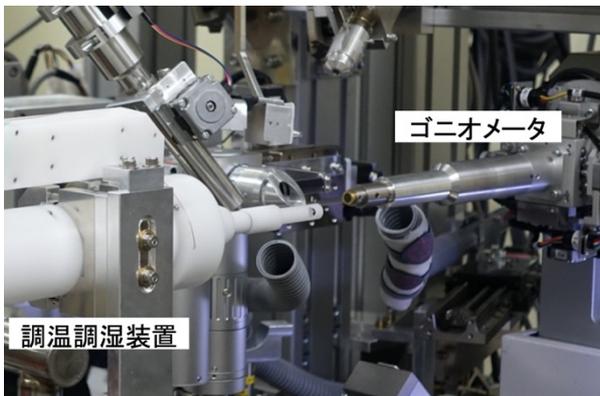


図 2 HAG 法のために開発した調温調湿装置

の量を 1/10 以下に減らせることを示した^[14]。さらに上述の HAG 法と組み合わせることで微小結晶の室温回折データ測定を実現し^[15]、時間オーダーの遅い反応のダイナミクス研究も行われている。

また、サブミリ秒の時分割構造解析を行うために、SACLA の時分割実験で実績のある SFX インジェクターの導入や、少ない試料での時分割実験を目指した固定ターゲットシリアル法用の試料ホルダの作製などを BL41XU で進めている。反応開始に使用するナノ秒波長可変レーザーの整備も進み、これを用いた実験が試行的に 2021A 期より開始した。急速凍結による中間体捕捉のための技術開発にも取りかかり、そのための専用の試料準備設備を BL41XU の実験ハッチ 2 の下流に整備中である。

(3) 超高分解能構造解析

タンパク質の中には回折分解能が 0.8 Å を超える非常に良質な結晶が得られるものがあり、そのような試料では機能に関わる水素原子や、活性部位の原子の電荷を正確に決めることができる。このような超高分解能構造解析には波長の短い X 線を利用することが有利であり、BL41XU の実験ハッチ 1 にその環境を整備し、昨年度末には EIGER2 X CdTe 4M 検出器も導入されている (図 3)。高エネルギー X 線への感度が高くダイナミックレンジの広いこの検出器は、超高分解能データ測定に適しており、今後のユーザー利用の広がりも期待できる。また、高エネルギー X 線利用の利点を生かすために、34.56 KeV に K 吸収端をもつ Xe を用いた多波長異常分散法 (Multi-wavelength Anomalous Diffraction method : MAD 法) の汎用化などの技術開発も進めている^[16]。



図 3 EIGER2 X CdTe 4M 検出器

5. 今後の展開

クライオ電子顕微鏡の単粒子解析法による構造解析の技術革新、高精度構造予測プログラム *AlphaFold2* の出現により構造生物研究を取り巻く環境は大きく変わりつつある。今後は、良質な結晶が得られれば迅速に正確な構造を実験的に決めることができる放射光 X 線結晶解析法の利点を生かし、以下のテーマに取り組んで行きたい。①測定試料の調製や解析をミッションとする結晶解析チームと連携し、結晶化から解析までのパイプライン化を実現すること、②SPring-8 次期計画を見据え、ピンクビームを用いたより短い時間分解能での時分割構造解析を実現すること、③2021B 期より試行運用が始まった共用のクライオ電子顕微鏡と連携し、双方の長所を生かした構造生命科学の基盤を構築すること。これらの実施にあたっては、これまで同様に理研 RSC 生物系ビームライン基盤グループと協力しながら進める予定である。

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 タンパク質結晶解析推進室
〒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

参考文献

- [1] Y. Norimatsu *et al.*: *Nature* **545** (2017) 193-198.
- [2] Y. Hirano *et al.*: *Nature* **534** (2016) 281-284.
- [3] K. Hirata *et al.*: *Acta Cryst.* **D75** (2019) 138-150.
- [4] タンパク質結晶解析推進室：SPring-8/SACLA 利用者情報 **24** (2019) 468-470.
- [5] 馬場清喜、水野伸宏：日本結晶学会誌 **63**(2021) 216-218.
- [6] G. Ueno *et al.*: *J. Appl. Crystallogr.* **37** (2004) 867-873.
- [7] H. Murakami *et al.*: *Acta Cryst.* **D76** (2020) 155-165.
- [8] Y. Nakamura *et al.*: *Acta Cryst.* **F76** (2020) 616-622.
- [9] G. Ueno *et al.*: *AIP Conference Proceedings* **1741** (2016) 050021.
- [10] 水野伸宏、熊坂崇：SPring-8/SACLA 利用者情報 **26** (2021) 265-267.
- [11] S. Baba *et al.*: *Acta Cryst.* **D69** (2013) 1839-1849.
- [12] S. Baba *et al.*: *J. Appl. Crystallogr.* **52** (2019) 699-705.
- [13] A. Shimada *et al.*: *Sci. Adv.* **3** (2017) e1603042.
- [14] K. Hasegawa *et al.*: *J. Synchrotron Radiat.* **24** (2017) 29-41.
- [15] K. Hasegawa *et al.*: *Acta Cryst.* **D77** (2021) 300-312.
- [16] N. Mizuno *et al.*: *J. Synchrotron Radiat.* **20** (2013) 999-1002.

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
 広島大学 大学院先進理工系科学研究科
 木村 昭夫

1. はじめに

つい先日、ノーベル物理学賞が眞鍋淑郎氏 (プリンストン大学) と Klaus Hasselmann 氏 (マックスプランク研究所)、Giorgio Parisi 氏 (ローマ・ラ・サピエンツァ大学) の 3 名に授与されるとのニュースが入りました。眞鍋氏と Hasselmann 氏は「地球気候を物理的にモデル化し、変動を定量化して地球温暖化の高信頼予測を可能にした業績」で、Parisi 氏は「原子スケールから天体スケールまでの物理系における無秩序と揺らぎの関連の発見」により受賞されました^[1]。眞鍋氏は大気海洋結合モデルを開発し、地球温暖化シミュレーションモデルの原型を作り大きな貢献をされたとのことでした^[2]。眞鍋氏のインタビューでもありましたように、この受賞はご本人も意外だったそうです。おそらく多くの方々が同じように思われたことでしょう。いわゆる分野横断的な研究とも捉えることができるかと思えます。大関真之氏 (東北大学) が Parisi 氏の貢献について分かりやすく解説されております。同氏が提案したレプリカ対称性の破れは、スピングラスのような複雑系において様々なパターンが混在しており、そのパターンを系統的に崩していくことにより無数のパターンが現れますが、この概念が情報科学や生物学や機械学習にも波及しているとのことでした^[3]。すなわち、Parisi 氏は様々な分野における複雑な現象を説明する基本的な概念を提唱したということです。このような話をお聞きすると、もはや先述の「意外」という感覚は取り除かれ、今回も然るべき方々が受賞されたことを認識できた次第です。

2. SPring-8 シンポジウム 2021 を終えて

さて、去る 9 月 17、18 日の 2 日間、SPring-8 シンポジウム 2021 を無事開催することができました。

詳細は、西堀 SPRUC 幹事 (筑波大学) による報告記事に書かれておりますのでぜひご覧いただければと思います^[4]。昨年に引き続きコロナ禍が収まらず、今回もオンライン開催を強いられました。昨年は初めてのオンライン参加を基本としたハイブリッド形式による 1 日だけの開催で、「ポスト・コロナ時代の SPring-8 利用」として進めました。今回は、通常形式に戻って、利用トピックスも聞きたいという強い要望に応えることにもなりました。また今回のテーマは「SPring-8 将来像からのバックキャスティング」でした。それも 30 年以上後の将来像を掲げ、その将来像に我々がどのように向かっていけば良いのかを議論しようということになったのです。このような壮大なテーマを立てたものは良いものの、どのようにシンポジウムが進んでいくのかが不安でもありましたが、将来像を語るセッションが始まった途端その不安が消え、ご講演者の方々の積極的なご発言に勇気づけられました。将来像の設定では「ラボ単独では太刀打ちができないオンリーワンの研究開発の場の創成」「データサイエンスの利用促進」が講演者から掲げられました。また、人材育成も重要で「多くの博士課程修了者が輩出される施設となるべき」との提言がありました。それらのバックキャスティングとして「空間・時間軸での可視化技術、高分解能な技術開発」「データの体系化」について強調されました。2 日目は、利用トピックスとして数々の貴重な話題をいただきました。はやぶさ 2、地球科学、電池材料、COVID-19 の最先端の研究、そして、実用スピントロニクス、実用界面、新分野創成課題についてレビューをしていただきました。後のアンケートでも分かりましたが、利用トピックスはやはり参加者に好評で、2 日間かけて行った甲斐がありました。

参考文献

- [1] 日本物理学会 祝 2021年ノーベル物理学賞受賞
<https://www.jps.or.jp/information/2021/10/2021nobelprize.php>
- [2] 日本物理学会 2021年ノーベル賞解説
<https://www.jps.or.jp/public/2021nobel2.php>
- [3] 日本物理学会 2021年ノーベル賞解説
<https://www.jps.or.jp/public/2021nobel1.php>
- [4] SPring-8/SACLA 利用者情報
<https://user.spring8.or.jp/sp8info/?p=39742>

木村 昭夫 KIMURA Akio

広島大学 大学院先進理工系科学研究科
〒739-8526 広島県東広島市鏡山 1-3-1
TEL : 082-424-7400
e-mail : akiok@hiroshima-u.ac.jp

SPring-8/SACLA 利用者情報 編集委員会

委員長	木下 豊彦	利用推進部
委員	内山 裕士	精密分光推進室
	大和田成起	XFEL 利用研究推進室
	奥村 英夫	タンパク質結晶解析推進室
	竹田 幸治	SPring-8 ユーザー協同体 (SPRUC)
		編集幹事 (日本原子力研究開発機構)
	肥後 祐司	回折・散乱推進室
	平岡 裕治	情報処理推進室
	平山 明香	利用推進部
	本間 徹生	産業利用・産学連携推進室
	正木 満博	光源基盤部門
	松本 悠史	安全管理室
	宮松 誠	利用推進部
	森脇 太郎	分光推進室
	安武 正展	散乱・イメージング推進室
	山口 由紀	企画室
	山崎 裕史	光源基盤部門
	(以上、敬称略五十音順)	
事務局	富松 亮介	利用推進部
	坂尻佐和子	利用推進部
	山本 律	利用推進部

SPring-8/SACLA 利用者情報

Vol.26 No.4 Autumn 2021

SPring-8/SACLA Information

発行日 2021年11月15日

編集 SPring-8/SACLA 利用者情報編集委員会

発行所 公益財団法人高輝度光科学研究センター
TEL 0791-58-0961 FAX 0791-58-0965

(禁無断転載)



陽報に華やいだ日々思いはせ、ゆかしき千客心待つ

JASRI

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

〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都^{こうと}1-1-1
[研究支援部] TEL 0791-58-0950 FAX 0791-58-0955
[利用推進部] TEL 0791-58-0961 FAX 0791-58-0965
e-mail : sp8jasri@spring8.or.jp
SPring-8 Web Site : <http://www.spring8.or.jp/>