

SPring-8/SACLA

INFORMATION 利用者情報



ISSN 1341-9668 SPring-8 Document D2021-002

Vol.26 No.1
Winter 2021

SPring-8/SACLA Information

目次 CONTENTS

理事長室から 正見 一八正道と放射光科学ー Message from President Right View - Noble Eightfold Path & Synchrotron Radiation Research - (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	1
1. 最近の研究から/ FROM LATEST RESEARCH		
その場 X 線ラマン散乱分光によるリチウムイオン電池黒鉛負極の電子状態解析 In situ X-ray Raman Scattering Spectroscopy of a Graphite Electrode for Lithium-Ion Batteries (株) 豊田中央研究所 分析部 量子ビーム解析研究室 Quantum Beam Analysis Lab., Materials Analysis & Evaluation Dept., Toyota Central R&D Labs., Inc. (株) 豊田中央研究所 環境・エネルギー1部 電池材料・プロセス研究室 Battery Materials & Processing Lab., Environment & Energy Dept. I, Toyota Central R&D Labs., Inc.	野中 敬正 NONAKA Takamasa 川浦 宏之 KAWAURA Hiroyuki 牧村 嘉也 MAKIMURA Yoshinari 西村 友作 NISHIMURA Yusaku 堂前 和彦 DOHMAE Kazuhiko	2
オペランド時空間 X 線分光によるデバイス機能発現の定量可視化 Study for Quantitatively Visualizing Device Function by using Operando Spatiotemporal X-ray Spectroscopy 東北大学 電気通信研究所 Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University 住友電気工業 (株) Sumitomo Electric Industries, Ltd.	吹留 博一 FUKIDOME Hirokazu 大美賀 圭一 OMIKA Keichi 河内 剛志 KOUCHI Tsuyoshi 館野 泰範 TATENNO Yasunori 保井 晃 YASUI Akira 大河内 拓雄 OHKOCHI Takuo	8
(JASRI 理事長ファンド採択研究課題) 斜入射 X 線を用いた薄膜フォノンの研究 ～フォノン測定から見る熱特性～ Phonon Measurements of Thin Films using Glazing Incidence X-ray - Thermal Properties and Phonon Measurements - (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	内山 裕士 UCHIYAMA Hiroshi	16
(JASRI 理事長ファンド採択研究課題) 硬 X 線光電子分光法によるバンドギャップ光励起下の電子状態評価技術の開発 Study of Electronic Structure for Various Semiconductor Materials using Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy with Band-Gap Excitation (公財) 高輝度光科学研究センター 放射光利用研究基盤センター 産業利用・産学連携推進室 Industrial Application and Partnership Division, Center for Synchrotron Radiation Research, JASRI	安野 聡 YASUNO Satoshi	22
2. ビームライン/ BEAMLINES		
低真空～ヘリウム置換大気圧環境下での観察が可能な走査型軟 X 線分光顕微鏡の開発 (軟 X 線ビームライン BL17SU) Development of a Scanning Soft X-ray Spectromicroscope Capable of Observation under Conditions Ranging from Low-Vacuum to Helium Atmosphere (Soft X-ray Beamline BL17SU) (国) 理化学研究所 放射光科学研究センター RIKEN SPring-8 Center	大浦 正樹 OURA Masaki 石原 知子 ISHIHARA Tomoko	29
3. 研究会等報告/ WORKSHOP AND COMMITTEE REPORT		
LEEM PEEM 11.5 (オンラインイベント) 参加報告 Report of LEEM PEEM 11.5 (Online Event) (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・イメージング推進室 Spectroscopy and Imaging Division, Center for Synchrotron Radiation Research, JASRI	大河内 拓雄 OHKOCHI Takuo	35
Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid State Science (PRiME 2020) 報告 Report on the Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid State Science (PRiME 2020) (公財) 高輝度光科学研究センター 放射光利用研究基盤センター 産業利用・産学連携推進室 Industrial Application and Partnership Division, Center for Synchrotron Radiation Research, JASRI	渡辺 剛 WATANABE Takeshi	38

「MRM forum 2020」会議報告 Report on Materials Research Meeting (MRM) forum 2020 (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	42
第4回 SPring-8 秋の学校を終えて The 4th SPring-8 Autumn School SPring-8 ユーザー協団体 (SPRUC) 行事幹事 (秋の学校担当) / (国) 量子科学技術研究開発機構 量子ビーム科学部門 Quantum Beam Science Research Directorate, National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology	大和田 謙二 OHWADA Kenji	44
フロンティアソフトマター開発専用ビームライン第10回研究発表会 The 10th Conference on Consortium of Advanced Softmaterial Beamline (FSBL) 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 Advanced Softmaterial Beamline (FSBL)	松野 信也 MATSUNO Shinya 岩田 忠久 IWATA Tadahisa	48
4. SPring-8/SACLA 通信/SPring-8/SACLA COMMUNICATIONS 2021A 期 SACLA 利用研究課題の採択について The SACLA Public Proposals Approved for Beamtime 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		51
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		53
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		55
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		59
専用ビームラインにおける評価・審査の結果について Review Results of Contract Beamlines (公財) 高輝度光科学研究センター 利用推進部 User Administration Division, JASRI		79
利用系グループ活動報告 XFEL 利用研究推進室 先端計測・解析技術グループ Activity Reports - Advanced Measurement and Analysis Group, XFEL Utilization Division (公財) 高輝度光科学研究センター XFEL 利用研究推進室 / (国研) 理化学研究所 放射光科学研究センター XFEL Utilization Division, JASRI / RIKEN SPring-8 Center	城地 保昌 JOTI Yasumasa 初井 宇記 HATSUI Takaki	84
5. 談話室・ユーザー便り/USER LOUNGE・LETTERS FROM USERS SPring-8 ユーザー協団体 (SPRUC) 四季報 SPRUC Communications SPring-8 ユーザー協団体 (SPRUC) 会長 / 広島大学 大学院先進理工科学研究科 Graduate School of Advanced Science and Engineering, Hiroshima University	木村 昭夫 KIMURA Akio	88
6. 告知板/ANNOUNCEMENTS SPRUC 第3回 BLs アップグレード検討ワークショップ開催のご案内 SPRUC 3rd Workshop on BLs Upgrade		89
第29回 SPring-8/SACLA 施設公開のご案内 Announcement of SPring-8 & SACLA Open House		90

正見 —八正道と放射光科学—

公益財団法人高輝度光科学研究センター
理事長 雨宮 慶幸



標題は、「しょうけん」と読み、釈迦¹⁾が説いた「八正道(はっしょうどう)」の中で涅槃に至るための8つの実践徳目²⁾の内、第1番目に挙げた徳目です。すなわち、正見(正しく見る)が最初の出発点であると説いて

いて、正見があつてこそ、正思(正しく考える)→正語(正しく語る)→正業(正しく行う)が可能になると説いています。八正道が説く手順は、放射光科学の神髄であり科学的方法論の基本でもあると、私は感動を持って受け止めています。放射光実験施設の設備・装置群は、正見(=正しく計測する)を目指していて、放射光を利活用する我々研究者は、正見に続く正思(正しく解析・分析する)、正語(正しく議論、情報発信する)、正業(成果を正しく活用・応用する)・正定、という放射光科学における八正道の実践が求められています。

私は嘗て二次元X線検出器の開発に携わり、検出器の感度ムラ、画像歪みの補正に苦勞しました。今、振り返って考えると、「心(検出器)にムラや歪みがあると、ものごと(原子・分子)を正しく判断(解析)することができない。」と、お釈迦様から指摘されていたような気がします。

「計測は科学の母」と言われますが、「正見は科学の母」だと言い換えてもいいのではと思います。ケプラー³⁾の法則の発見も、ブラーエ⁴⁾の天体活動の地道な計測結果に基づいた発見です。まさに、八正道の正見→正思の流れの典型例です。

「木を見て森を見ず」、「群盲象を評す」、「近視眼的な見方」という言葉は、正見できない落とし穴を示唆

する諺だと言えます。これらの諺は元々、小さい覗き穴から一部分だけ・見える物だけを見て、全体を評したり決めつけたりする、私達が日常生活で犯しやすい過ち・独断に対する戒めです。と同時に、放射光科学における正見の実践として、multi-scale 計測が必要であることを示唆しています。これらの言葉には日常生活のみならず放射光科学に対する示唆も含まれていて、先人は偉大だと思います。正見の実践には複眼的な見方やありのままに見ることも必要で、multi-probe 計測・同時計測、及び operando 計測が各々それに相当します。

人間社会における争いごとの大部分は、視野の狭さ、偏見、立場の違いによる見える景色の差異等、正見の実践ができないことが原因となり正思が妨げられ、その結果生じる誤解や独断によって引き起こされる場合が多いように思います。multi-scale 計測、multi-probe 計測・同時計測、operando 計測による正見の実践を目指した八正道の探求は、放射光科学の今後の更なる発展にとって、また、不必要な争いや諍いごとのない住みやすい社会の実現にとって、非常に重要だと考えます。

- 1) 紀元前5世紀前後の人物で仏教の開祖。
- 2) 8つの実践徳目は、1. 正見(正しく見る)、2. 正思(正しく考える)、3. 正語(正しく語る)、4. 正業(正しく行う)、5. 正命(正しく生活する)、6. 正精進(正しく努力する)、7. 正念(マインドフルネス)、8. 正定(真なる正見に至る)。
- 3) ヨハネス・ケプラー(1571-1630)、ドイツの天文学者。
- 4) ティコ・ブラーエ(1546-1601)、デンマークの天文学者。

その場 X 線ラマン散乱分光による リチウムイオン電池黒鉛負極の電子状態解析

株式会社豊田中央研究所

分析部 量子ビーム解析研究室 野中 敬正

環境・エネルギー1部 電池材料・プロセス研究室

川浦 宏之、牧村 嘉也

機械1部 パワトレシステム研究室 西村 友作

分析部 量子ビーム解析研究室 堂前 和彦

Abstract

X 線ラマン散乱分光 (X-ray Raman scattering: XRS) は、透過能の高い硬 X 線をプローブとして軟 X 線吸収分光と同等の情報を得ることができる手法である。同手法の適用により、軟 X 線吸収分光では一般的に困難である軽元素の非破壊・その場解析を容易に実現できる。一方、黒鉛は、リチウムイオン電池の負極として最も広く利用されている材料であるが、電池充放電に伴う炭素の電子状態変化については未だ十分には解明されていない。本研究では、充放電可能なセルを用いた黒鉛負極のその場 XRS 測定手法を開発し、放電中に現れる 3 種の相 (LiC₆、LiC₁₂、黒鉛) について C K 吸収端 XRS 測定を行った。観測された放電に伴うスペクトル変化は先行研究の結果と合致するものであり、開発したその場 XRS 測定手法が、電池動作中の黒鉛負極の電子状態評価に有用であることがわかった。

1. はじめに

黒鉛は、その低コスト、天然資源の豊富さ、高エネルギー密度、長期耐久性などの理由から、リチウムイオン電池の負極として最も広く利用されている材料である^[1-3]。黒鉛負極では、充放電に伴いグラフェン層間にリチウムイオンが挿入・脱離され、LiC₆、LiC₁₂、LiC₁₈などの lithium-intercalated graphite (LIG) が形成される^[4,5]。リチウムイオン挿入・脱離に伴う LIG の結晶構造変化についてはよく知られているが、電子状態変化については未だ十分には解明されていない。LIG の電子状態は、リチウムイオン電池の電子伝導度やイオン伝導度を左右する要因の一つであり^[6]、これまでに理論・実験両面から幅広く研究されてきた。特に、軟 X 線吸収分光 (軟 X 線 XAS)^[7]や電子エネルギー損失分光 (EELS)^[8]などの内殻分光は、LIG の電子状態を評価するための有効なツールであることがわかっている。しかしながら、これらの手法では、真空内での測定が必要、分析深さが浅い、などの理由により、一般的にその場 (in situ) 測定の実施は困難である。

電池を解体せずに化学的・物理的特性を直接モニタリングできるその場測定は、今やリチウムイオン電池の研究に欠かせないツールとなっている^[9-12]。リチウムイオンが挿入された黒鉛負極は空気に対して非常に敏感であるため、LIG の電子状態評価においても大気非暴露のその場測定が望ましい。

我々は、LIG の電子状態をその場で評価する手法として、X 線ラマン散乱 (X-ray Raman scattering: XRS) 分光に着目した。硬 X 線を用いた XRS はバルク敏感な X 線エネルギー損失分光法であり、双極子近似が成立する条件では、軟 X 線 XAS や EELS と同等の情報を得ることができる^[13-15]。同手法では、硬 X 線の高い透過能を活かして、軽元素の非破壊・その場測定を容易に実現できる。Braun ら^[16]は、リチウムイオン電池のその場 XRS 測定により、充放電過程における正極材料中のマンガンの電子状態変化に関する情報が得られることを実証した。LIG については、Balasubramanian ら^[17]、Stutz ら^[18]による非その場 (ex situ) XRS 測定例が報告されているものの、その場

XRS 測定の報告例はなかった。本研究では、リチウムイオン電池黒鉛負極の C K 吸収端 XRS をその場で測定し、電池動作中の LIG の電子状態変化を明らかにするための手法を開発した^[9]。本稿では、開発した手法の詳細と検証実験の結果について述べる。

2. 実験

図 1(a)に、BL33XU (豊田ビームライン)^[20]に構築したその場 C K 吸収端 XRS 測定用セットアップの概略図を示す。試料から発生する 9793 eV の散乱 X 線を、鉛直方向の Rowland 円上に配置した Si(660)球面湾曲分光結晶により分光・集光した上で、二次元検出器 (Pilatus 300K, Dectris) により計測した。試料から検出器までの光路上に設置した、ヘリウム置換チェンバーおよび鉛板により、バックグラウンド散乱や空気による吸収を低減した。液体窒素冷却の Si(111)二結晶分光器を用いて、入射 X 線エネルギーを 10053 ~10150 keV の範囲で掃引することにより、C 吸収端 XRS スペクトルを取得した。本セットアップにお

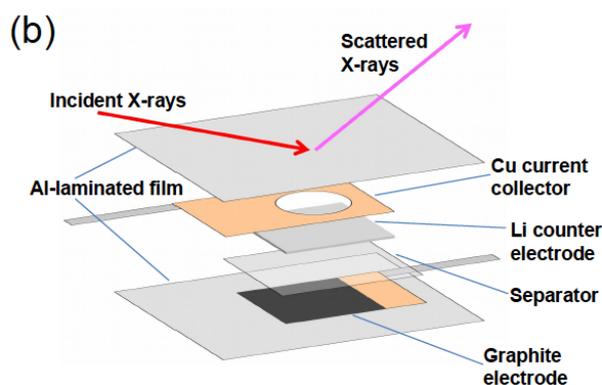
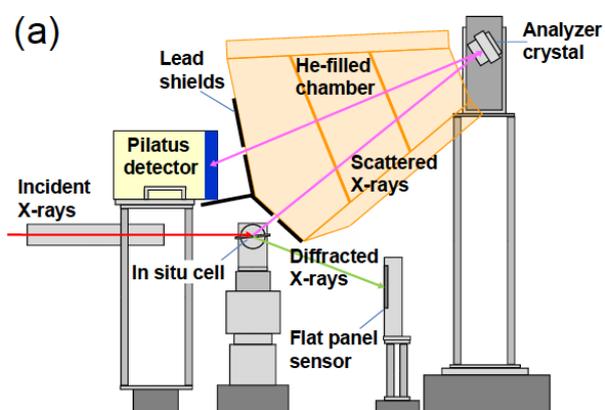


図 1 (a) その場 C K 吸収端 XRS 測定用実験セットアップの概略図、(b) その場 C K 吸収端 XRS 測定用セルの概略図。文献[19]から許可を得て転載。

ける XRS スペクトルのエネルギー分解能は約 1.6 eV であった。散乱角は 40°に設定した。これは運動量移行 3.45 \AA^{-1} に相当し、双極子近似の成立条件を満足している。本セットアップでは、X 線回折 (XRD) 測定により XRS 測定中の試料の結晶構造をモニターすることができる。XRD 測定には、検出器としてフラットパネルセンサー (C10158DK、浜松ホトニクス) を使い、入射 X 線エネルギーは 10000 eV とした。

図 1(b)にその場 C K 吸収端 XRS 測定用に開発されたセル (以下、“セル”と称する) の概略図を示す。セルは、黒鉛負極、多孔質ポリプロピレンセパレータ、リチウム金属対極、電解液により構成される。負極には人造黒鉛と結着材 PVDF (ポリフッ化ビニリデン) を 95:5 (重量%) で混合し銅の集電箔に塗布したものを、対極には X 線透過用の穴を設けた銅集電箔に金属リチウム板を貼付したものをを用いた。負極層の厚さは約 100 μm であった。これらの部材を重ねた上で、グローブボックス内でアルミラミネートフィルムを用いて密封した。本セルでは、リチウム対極側から X 線を入射し、セル内部から発生する散乱 X 線を反射配置で計測する。本配置により、X 線の吸収能が高い銅箔を透過することなく XRS 信号を取得することができる。作製したセルは充放電装置を用いて問題なく充放電が可能であることを確認した後、2 枚のベリリウム板で挟み、わずかに加圧した状態で XRS 測定に供した。

3. 結果と考察

上述の通り、セルは複数の部材層の積み重ねにより構成されており、アルミラミネートフィルム、セパレータ、電解液も黒鉛負極と同様に炭素を含有している。黒鉛負極の XRS スペクトルを取得するためには、これらの部材に由来するスペクトルへの影響を可能な限り排除する必要がある。そこで、図 2(a)に示すように、集光ビームを用いた共焦点的な測定手法の適用を試みた。高次光除去ミラーの湾曲機構を用いて入射 X 線の縦方向の幅を 24 μm (半値全幅) に集光するとともに、試料面に対する入射 X 線の角度を 5°に設定した。本セットアップにおける球面湾曲分光結晶の受け入れ角は 0.0068° であり、これはビーム進行方向の受け入れ幅 1.5 mm に相当する。この条件下では、

XRS 測定の実験領域は入射 X 線と分光結晶受け入れ幅が重なる領域 (図 2(a)で緑で示した領域) に制限される。この状態でセルに対する X 線の照射位置 (試料高さ) を調整すれば、目的とする黒鉛負極のみの XRS スペクトルが取得できると考えた。黒鉛負極の位置を決定するために、セルの弾性散乱強度の試料位置依存性を測定した。また、各構成部材単体 (ベリリウム板、アルミラミネートフィルム、セパレータ、黒鉛負極) の弾性散乱強度プロファイルも同様に測定した。得られたセルの試料位置依存性プロファイルと単体で取得したプロファイルと比較することにより黒鉛負極の位置を推定した。推定された位置で取得したセルの C K 吸収端 XRS スペクトルを、構成部材単体のスペクトルとともに図 2(b)に示す。横軸の Energy Loss (eV) は、入射 X 線エネルギーから分光 X 線エネルギー (9793 eV) を差し引いたものである。セルの XRS スペクトルのピーク位置および形状は、黒鉛負極単体のスペクトルと良い一致を示した。一方、セパレータやアルミラミネートフィルムのスペクトルとは一致

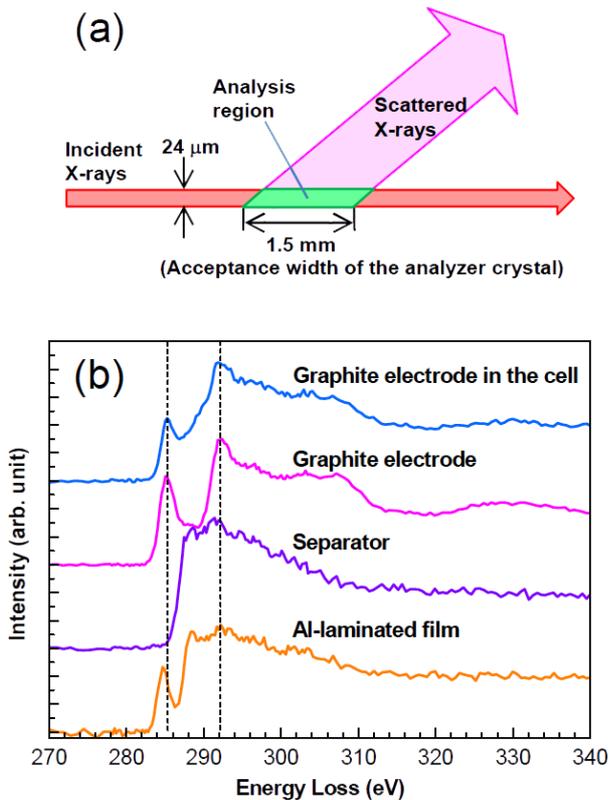


図 2 (a) XRS 測定の実験領域、(b) その場 XRS 測定用セル内の黒鉛負極およびセル構成部材単体 (黒鉛負極、セパレータ、アルミラミネートフィルム) の C K 吸収端 XRS スペクトル。文献[19]から許可を得て転載。

しなかった。これらの結果から、セルに対する X 線照射位置を調整することにより、共存する炭素含有部材の影響を排除した黒鉛負極の XRS スペクトルが取得可能であることがわかった。

本研究では、放電過程に現れる 3 種の LIG 相、すなわち LiC_6 、 LiC_{12} 、黒鉛 (図 3(a)) について、次のような手順で C K 吸収端 XRS 測定を実施した。XRS 測定中に得られたセルの放電曲線を図 3(b)に示す。まず充電装置を用いてセル電位を 0.005 V まで充電した。本電位においては、全ての黒鉛が LiC_6 に変化している

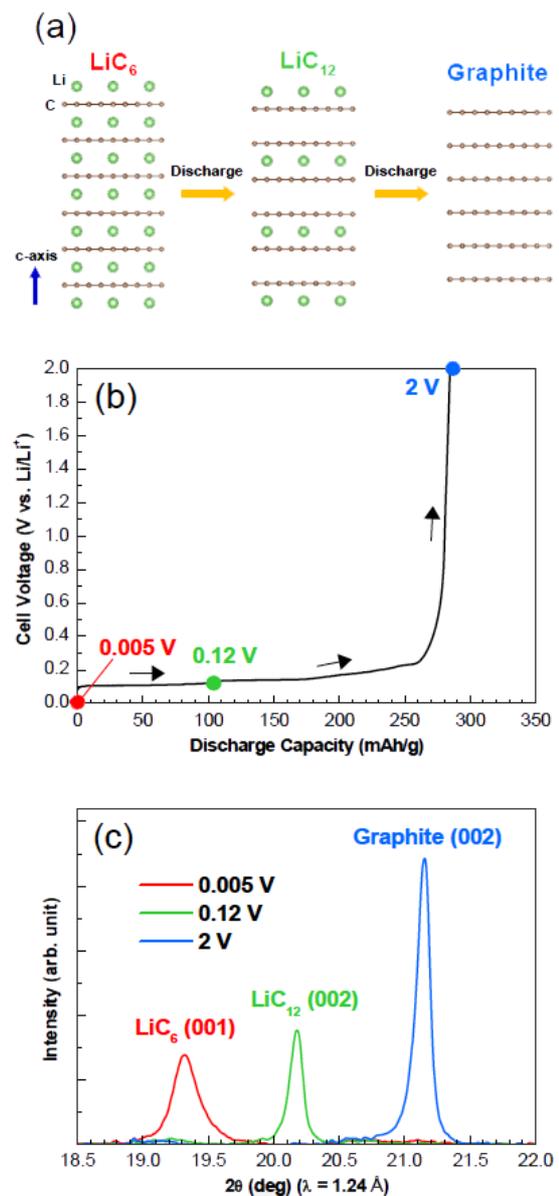


図 3 (a) LiC_6 、 LiC_{12} および黒鉛の結晶構造、(b) その場 XRS 測定用セルの放電曲線、(c) XRS 測定前に取得したセルの XRD パターン。文献[19]から許可を得て転載。

と予想された^[5]。セル電位を 0.005 V に維持しながら、251 分間 C 吸収端 XRS スペクトルを測定した。XRS 測定の前後に XRD 測定を行い、セル内の黒鉛電極の結晶構造をモニターした。その後、セルを放電する過程において、同様の手順による測定を電位 0.12 V および 2 V についても実施した。これらの電位においては、それぞれ LiC_{12} 、黒鉛の単相として存在していると予想された。これら 3 つのセル電位において測定した XRD パターンを図 3(c) に示す。それぞれの電位について単一の回折ピークが観測され、回折角 (2θ) から導出した格子定数の値は文献値^[21]と良い一致を示した。本結果より、セル電位 0.005 V、0.12 V および 2 V において、黒鉛負極はそれぞれ LiC_6 、 LiC_{12} および黒鉛の単相として存在していることが確認された。

図 4 に、セル電位 0.005 V、0.12 V および 2 V で測定したセル内黒鉛電極の C K 吸収端 XRS スペクトルを示す。285.5 eV 付近のピークは C 1s 軌道から π^* 軌道への遷移に相当し、290 eV 付近から立ち上がるブロードな構造は C 1s 軌道から σ^* 軌道への遷移に相当する^[22]。セルの放電、すなわちリチウムイオンの脱離に伴って、スペクトルに以下の 2 つの系統的な変化が認められた。黒鉛負極中のリチウム含有量が減少するにつれて、 $1s \rightarrow \pi^*$ 遷移ピークの強度が増大するとともに、 $1s \rightarrow \sigma^*$ 遷移の立ち上がり位置が高エネルギー側へシフトした。複数のグループが、XRS^[17,18,23]、軟 X 線 XAS^[7]、EELS^[8]、X 線発光分光^[24]を用いて、 LiC_6 の

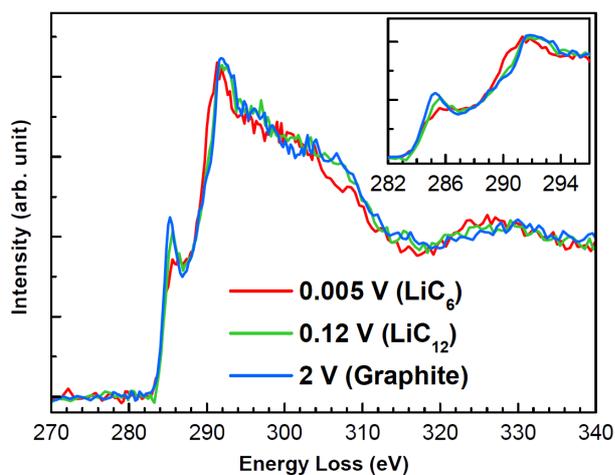


図 4 セル電位 0.005 V、0.12 V および 2 V で測定したセル内黒鉛電極の C K 吸収端 XRS スペクトル、(右上) 吸収端近傍領域 (282~296 eV) の拡大図。文献[19]から許可を得て転載。

π^* ピーク強度が黒鉛と比べて低下することを実験的に明らかにしている。また、XRS^[18]および EELS^[25]の密度汎関数理論計算によっても、 LiC_6 の π^* ピーク強度の低下が予測されている。Titantah ら^[25]は、この低下の主な原因は、 LiC_6 中の炭素原子の周りに Li 2s 伝導電子が集まることによるクーロンポテンシャルの遮蔽効果であると提唱している。今回観測された π^* ピーク強度の変化は、これらの実験的・理論的研究の結果と良く一致した。 LiC_{12} の π^* ピーク強度は LiC_6 と黒鉛の中間に位置した。この傾向は、文献[18]で報告された XRS 測定の結果と合致するものであった。 $1s \rightarrow \sigma^*$ 遷移の立ち上がり位置のシフトについても、複数の先行研究^[7,17,18,25]の結果と一致した。このシフトも、クーロンポテンシャルの遮蔽効果に起因すると考えられている^[25]。以上のように、リチウム含有量の変化に伴う XRS スペクトルの系統的な変化は、先行研究の結果と良く一致した。このことから、観測されたスペクトル変化が電池放電に伴う黒鉛負極の電子状態変化を反映したものであると結論付けた。

4. まとめと展望

リチウムイオン電池黒鉛負極のその場 C K 吸収端 XRS 測定用のセルおよび実験セットアップを開発・確立した。本セットアップでは、共焦点的な手法により、共存する炭素含有部材の影響を排除して黒鉛負極層のみの XRS スペクトルを取得可能である。また、XRS 測定中の黒鉛負極の結晶構造変化を同時 XRD 測定によりモニターできる。放電過程に現れる 3 種の LiG 相 (LiC_6 、 LiC_{12} 、黒鉛) について、その場 C K 吸収端 XRS 測定を実施した結果、リチウム含有量の変化に伴う系統的なスペクトル変化が観測された。この変化は先行研究の結果と合致するものであり、黒鉛負極の電子状態変化に起因していることがわかった。これは、開発したその場 XRS 測定手法が、電池動作中の黒鉛負極の電子状態評価に有用であることを意味している。本手法を様々な動作条件下のリチウムイオン電池に適用することにより、電池の性能向上に繋がる重要な知見が得られると期待される。また本手法は、XRD、硬 X 線 XAS、蛍光 X 線分析、X 線ラジオグラフィなど、他の硬 X 線分析手法と容易に組み合わせることが可能である。例えば、我々は最近、

Li[Li_{0.15}Mn_{1.85}]O₄ 正極材料の反応機構を解明すべく、その場 O K 吸収端 XRS 測定とその場 Mn K 吸収端 XAS 測定を相補的に活用した^[26]。今後、その場 XRS と他の硬 X 線手法を組み合わせた解析により、リチウムイオン電池の諸現象に関する理解が大幅に深まると確信している。

謝辞

本研究は、課題番号 2016A7008、2016B7008、2017A7008、2017B7008 のもとで実施された。X 線ラマン散乱分光法の導入に際し、日本女子大学 林久史教授から数多くのご指導、ご助言を賜った。この場をお借りして深く感謝申し上げる。

参考文献

- [1] J. M. Tarascon and M. Armand: *Nature* **414** (2001) 359-367.
 [2] N. Nitta, F. Wu, J. T. Lee and G. Yushin: *Mater. Today* **18** (2015) 252-264.
 [3] M. Obrovac and V. Chevrier: *Chem. Rev.* **114** (2014) 11444-11502.
 [4] J. Dahn: *Phys. Rev. B* **44** (1991) 9170.
 [5] T. Ohzuku, Y. Iwakoshi and K. Sawai: *J. Electrochem. Soc.* **140** (1993) 2490.
 [6] M. Park, X. Zhang, M. Chung, G. B. Less and A. M. Sastry: *J. Power Sources* **195** (2010) 7904-7929.
 [7] L. Zhang, X. Li, A. Augustsson, C. Lee, J.-E. Rubensson *et al.*: *Appl. Phys. Lett.* **110** (2017) 104106.
 [8] A. Hightower, C. Ahn, B. Fultz and P. Rez: *Appl. Phys. Lett.* **77** (2000) 238-240.
 [9] P. Harks, F. Mulder and P. Notten: *J. Power Sources* **288** (2015) 92-105.
 [10] X. Liu, W. Yang and Z. Liu: *Adv. Mater.* **26** (2014) 7710-7729.
 [11] T. Nonaka, C. Okuda, Y. Seno, H. Nakano, K. Koumoto *et al.*: *J. Power Sources* **162** (2006) 1329-1335.
 [12] Y. Makimura, T. Sasaki, H. Oka, C. Okuda, T. Nonaka *et al.*: *J. Electrochem. Soc.* **163** (2016) A1450.
 [13] H. Hayashi, Y. Udagawa, J.-M. Gillet, W. Caliebe and C.-C. Kao: *Chemical Applications of Synchrotron Radiation* (World Scientific, Singapore, 2002) 850-908.
 [14] U. Bergmann, P. Glatzel and S. P. Cramer: *Microchem. J.* **71** (2002) 221-230.
 [15] C. J. Sahle, A. Mirone, J. Niskanen, J. Inkinen, M. Krisch *et al.*: *J. Synchrotron Radiat.* **22** (2015) 400-409.
 [16] A. Braun, D. Nordlund, S.-W. Song, T.-W. Huang, D. Sokaras *et al.*: *J. Electron. Spectrosc. Relat. Phenom.* **200** (2015) 257-263.
 [17] M. Balasubramanian, C. Johnson, J. Cross, G. Seidler, T. Fister *et al.*: *Appl. Phys. Lett.* **91** (2007) 031904.
 [18] G. Stutz, M. Otero, S. Ceppi, C. Robledo, G. Luque *et al.*: *Appl. Phys. Lett.* **110** (2017) 253901.
 [19] T. Nonaka, H. Kawaura, Y. Makimura, Y. F. Nishimura and K. Dohmae: *J. Power Sources* **419** (2019) 203-207.
 [20] T. Nonaka, K. Dohmae, Y. Hayashi, T. Araki, S. Yamaguchi *et al.*: *AIP Conf. Proc.* **1741** (2016) 030043.
 [21] X.-L. Wang, K. An, L. Cai, Z. Feng, S. E. Nagler *et al.*: *Sci. Rep.* **2** (2012) 747.
 [22] P. Batson: *Phys. Rev. B* **48** (1993) 2608.
 [23] W. Schülke, A. Berthold, A. Kaprolat and H.-J. Güntherodt: *Phys. Rev. Lett.* **60** (1988) 2217-2220.
 [24] A. Mansour, S. Schnatterly and J. Ritsko: *Phys. Rev. Lett.* **58** (1987) 614.
 [25] J. Titantah, D. Lamoen, M. Schowalter and A. Rosenauer: *Carbon* **47** (2009) 2501-2510.
 [26] K. Mukai, T. Nonaka, T. Uyama and Y. F. Nishimura: *Chem. Commun.* **56** (2020) 1701-1704.

野中 敬正 NONAKA Takamasa

(株) 豊田中央研究所 分析部 量子ビーム解析研究室
 〒480-1192 愛知県長久手市横道 41-1
 TEL : 0561-71-7229
 e-mail : nonaka@mosk.tytlabs.co.jp

川浦 宏之 KAWAURA Hiroyuki

(株) 豊田中央研究所 環境・エネルギー1部
 電池材料・プロセス研究室
 〒480-1192 愛知県長久手市横道 41-1
 TEL : 0561-71-7564
 e-mail : kawaura@mosk.tytlabs.co.jp

牧村 嘉也 MAKIMURA Yoshinari

(株) 豊田中央研究所 環境・エネルギー1部
 電池材料・プロセス研究室
 〒480-1192 愛知県長久手市横道 41-1
 TEL : 0561-71-7561
 e-mail : ymakimura@mosk.tytlabs.co.jp

西村 友作 NISHIMURA Yusaku

(株) 豊田中央研究所 機械1部 パワトレシステム研究室
〒480-1192 愛知県長久手市横道 41-1
TEL : 0561-63-4300
e-mail : yusaku-nishimura@mosk.tytlabs.co.jp

堂前 和彦 DOHMAE Kazuhiko

(株) 豊田中央研究所 分析部 量子ビーム解析研究室
〒480-1192 愛知県長久手市横道 41-1
(現所属)
(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

オペランド時空間 X 線分光によるデバイス機能発現の定量可視化

東北大学 電気通信研究所

吹留 博一、大美賀 圭一

住友電気工業株式会社

河内 剛志、館野 泰範

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・イメージング推進室

保井 晃、大沢 仁志、大河内 拓雄

Abstract

Si エレクトロニクスが限界に達した今、新材料の物性を極限まで引き出し、Si デバイスを凌駕するデバイスを創出せねばならない。しかし、新材料を用いたデバイスの機能は、材料物性から予測される理論値を大きく下回っている。その原因を究明すべく、我々はデバイス動作下でナノ物性の時空間ダイナミクスを観測するオペランド高時空間 X 線吸収分光のフルスペクトル計測を初めて実現し、さらに、GaN 高電子移動度トランジスタの性能を決定する表面電子捕獲の時空間ダイナミクスの直接観測に成功した。現在、オペランド時空間 X 線分光で得られるダイナミクスを基に、デバイス動作機構を定量可視化する学理の創出に取り組んでいるところである。

1. 背景

地球環境問題や少子高齢化問題、さらには未知なるウイルスが、我々を存亡の機に立たせている。ゆえに、低環境負荷な元素を用いて、軽労化および十分な社会的距離と活発な経済活動を並立させた社会の実現が希求されている。例えば、「どこからでも瞬時にアクセスでき、かつ、高臨場なコミュニケーション」(図1)などの創出が求められている。このような技術の基盤インフラが、無線通信システムである。現世代での5Gでは諸外国に対して大きな後れをとったが、2040年代に到来するであろう7Gについては、挽回する余地はある。7Gにおいては、5Gよりも1桁以上高い高周波帯域であるTHz(=1,000GHz)が用いられる。よって、THz帯で動作するデバイスの研究開発は、喫緊の課題である。



図1 高臨場なコミュニケーションのイメージ

Si エレクトロニクスは Dennard が提唱したスケールリング則に基づき、社会を変革する高性能デバイス・回路を生み出してきた。しかし、最小設計寸法が10nmを切った今、さらなる高性能化は容易ではない。

そこで、Si 以外の新材料を用いた新たなデバイスが盛んに研究開発されている。低次元材料(GaN/AlGaIn 界面二次元電子系、グラフェンなど)は優れた物性(高いキャリア移動度およびドリフト飽和速度)を有することに加え、その極薄さにより短チャネル効果の抑制など電子工学的にも利点を有する¹⁾。

しかし、新材料を用いたデバイスの性能の実測値は、その優れた物性値から予測される理論値を大きく下回っている。すなわち、材料物性がデバイス機能に直結しなくなっている。

我々はSi エレクトロニクスとグラフェンの融合による低環境負荷な超高速デバイス・回路の創出を企図して、グラフェン・オン・シリコン(GOS)技術を中心としたグラフェン成長および電子・光デバイス応用研究を行い(図2上)^{2,3)}、室温で最高 10^5 cm²/Vsもの移動度を有する超高品質グラフェンの最大4インチの大面积成長技術を住友電工や信越化学と連携して創出し^{3,5,6)}、さらに、高周波デバイス・回路の創出まで一貫した研究を展開した^{8,9)}(図2上)。

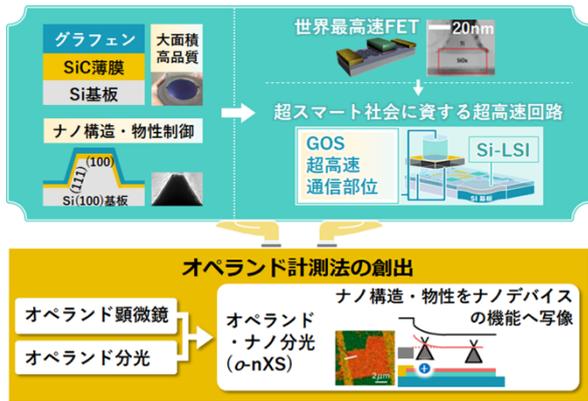


図2 グラフェンの一気通貫な研究

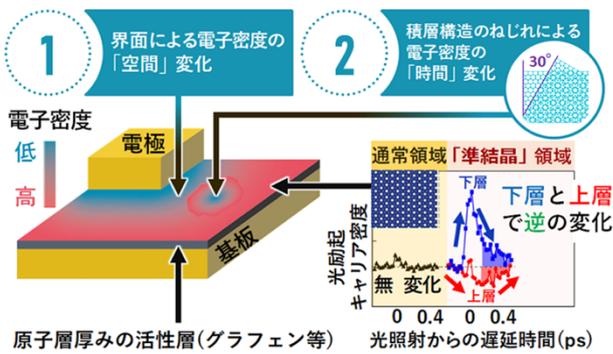


図3 表面界面による物性の時空間変調

しかし、これらのデバイス・回路の機能の実測値は、グラフェンのキャリア移動度・ドリフト飽和速度の値から予測される理論値を大きく下回る。このことは、従来の構造・物性研究における前提、「明確に定義された結晶を用い、その結晶が優れた物性をもてば、優れた機能が発現できる」に疑問を投げかけるものである。

この疑問に対する答えの一つが、デバイスに内在する多種多様な表面界面の存在である。低次元材料の物性は、表面や界面の存在に敏感に応答する。実際、我々は、電極金属や基板とグラフェンの界面やわずかな積層のずれにより、電子状態が時空間的に大きく変調することを実証している^[10-13] (図3)。

もう一つの原因が寄生領域の存在である。トランジスタを例に挙げて説明する。トランジスタ動作の要は、ゲート電圧によるチャンネル(キャリア輸送層)抵抗の可変的な変調である。しかし、実際に計測されるものは、活性領域の抵抗(R_p)だけでなく寄生領域の抵抗(R_p) (例: 電極とチャンネルの間の接触抵抗)の総和である全抵抗(R_T)である。グラフェンのようにキャリア移動度が非常に高い場合、 R_p は非常に小さくなり、

相対的に R_p が大きくなる。従って、電気計測される R_T が電圧により変調されたとしても、それは、実は活性領域ではなく、寄生領域の抵抗に因るケースが起り得る^[10]。この点は、デバイス応用研究だけでなく、基礎的な輸送物性研究などにおいても深刻な問題である。通常我々は電気計測により機能の計測結果から物性値を得るが、上記の点は、ターゲットとしている材料物性の真の理解を得られなくなってしまう可能性を示唆する。

2. 静的な電圧下でのオペランド・ナノ X 線分光

筆者のうちの一人は、オペランド・ナノ X 線分光 (operando nano X-ray Spectroscopy: o-nXS) に着手する以前から、オペランド計測を研究してきた (図2下)。原子間力顕微鏡を用いた水中における Si 溶解の観測を行ったが^[14]、走査型プローブ顕微鏡を用いた計測は原子スケール構造を詳らかにするが、いくつかの例外を除き、界面における電子状態や化学状態の解析は困難である。また、オペランド赤外分光法を用いて電位制御下にある表面水酸基の水和状態・荷電状態の同時計測に成功している^[15]。ただし、赤外分光法の空間分解能は通常数十 μm 程度であるため、先端ナノデバイスの局所物性を計測するには不十分である。ゆえに、高い顕微能と分光能および元素識別能を兼備した顕微オペランド X 線分光計測が、先端デバイス研究開発に不可欠であると強く認識した。

以上を踏まえ、X 線吸収分光や X 線光電子分光を基盤とするオペランド・ナノ X 線分光の開拓に着手するに至った^[10,16-18] (図4)。観測した試料は、5G や 6G でキーデバイスである GaN/AlGaN 界面の二次元電子ガス (2DEG) をチャンネルとした高電子移動度トランジスタ (GaN-HEMT)^[19] や 7G でキーデバイスとなり得るグラフェン・トランジスタ (GFET)^[16] や MoS_2 原子薄膜トランジスタなどである^[17]。

GaN-HEMT は、高電子移動度と大きなバンドギャップを兼備するため、高出力かつ高周波動作が可能であり、実際に住友電工により商用化されている^[19]。GaN-HEMT の大きな課題の一つが電流コラプス現象である。電流コラプス現象とは、高出力動作時に出力電流が時間的に変動したり、低下してしまう現象のことを指す^[20]。

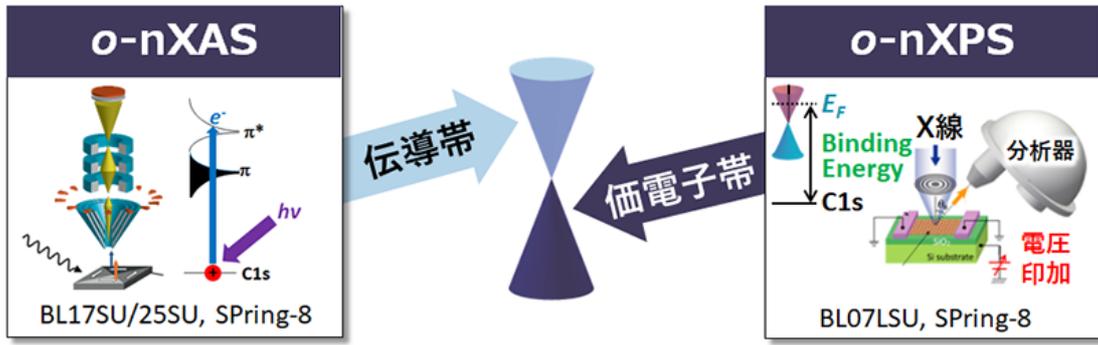


図4 オペランド・ナノX線分光の概略

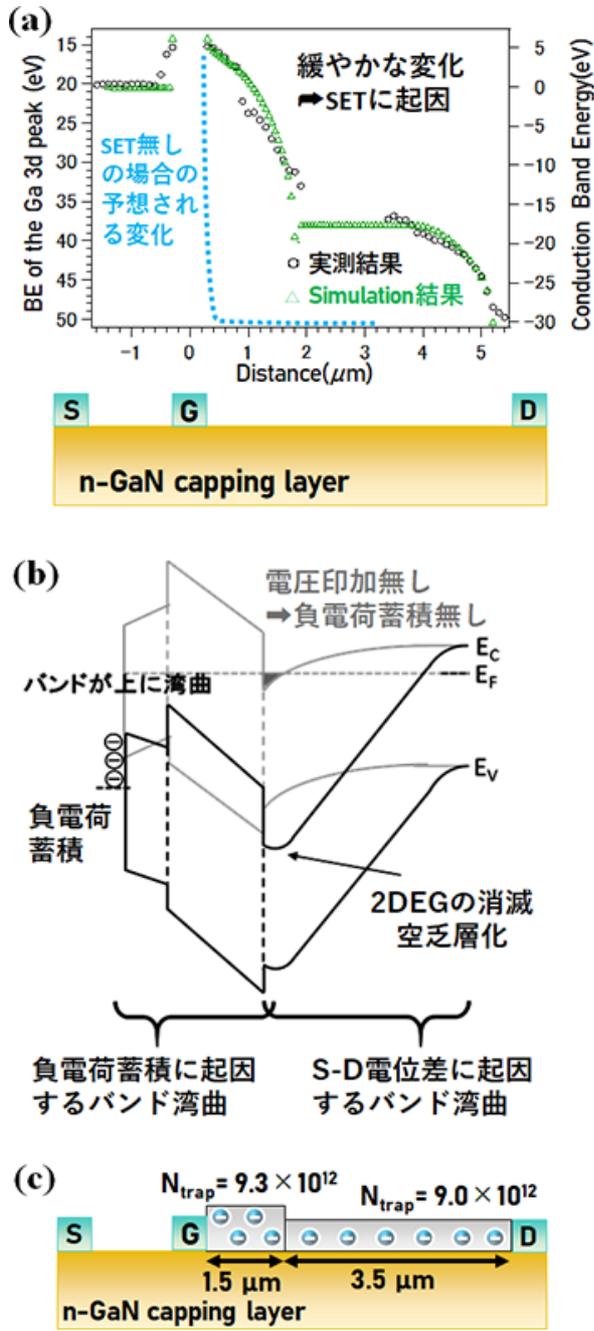


図5 GaN-HEMT のo-nXSによる研究結果

電流コラプス現象をもたらす原因が、デバイス表面における電子捕獲である。通常、半導体デバイスの動作機構の解明には巨視的な電気測定評価が用いられる^[21]。しかし、電気測定評価は局所情報を与えないため、電流コラプス現象に關与する表面電子捕獲 (SET) の微視的機構を解明することは困難である。

そこで、我々は、BL07LSU に設置されている nano-ESCA を用いて、DC 電圧印加下にある GaN-HEMT 表面のオペランド・ナノ光電子分光計測を行い、表面 Ga 3d ピークの空間依存性を調べた (図 5(a))^[18]。nano-ESCA の空間分解能は 70 nm である。この結果において注目すべき点は、ゲート電極ドレイン電極間の表面 Ga 3d ピーク・エネルギーが緩やかに変化している点である。SET がない理想的な場合では、Ga 3d ピーク・エネルギーは印加電圧のみによって決定されることから、Ga 3d ピーク・エネルギー変化はゲート近傍のみで起こるはずである (図 5 青点線)。ゆえに、観測された緩やかな変化は、SET によるバンド湾曲変化 (図 5(b)) に起因していることが示唆される。この緩やかなエネルギー変化を SET によるものとして電磁界シミュレーションを行い、表面捕獲電子密度の空間的变化を高精度に見積もることに成功した (図 5(c))。通常の電気特性評価では SET 密度の空間変化を計測することは不可能である。よって、本観測結果は o-nXS を用いることでしか得られないものであり、o-nXS の優位性を如実に示すものである。

表面垂直方向の電荷中性条件から、SET 密度とチャネルである AlGaIn/GaN 界面二次元電子密度の総和は一定である^[22]。よって、ドレイン側の SET 密度の増加は、チャネルのドレイン側の抵抗が増加することを示唆する。電子工学的には、この増加はオン抵抗 (ドレイン

電流-ドレイン電圧曲線の立ち上がり)が鈍化^[23](図6)、すなわち動作時の電力損失が増大することを意味する。以上、*o*-nXS はナノ物性の解析だけでなく、実デバイス動作の定量解析や設計に資するものであることが実証された。

3. オペランド時空間分解 X 線吸収分光の開拓

上記の GaN-HEMT の *o*-nXS 計測結果について興味深い点がある。それは、SET がゲート電極近傍だけでなく、ドレイン側へ幅広く分布している点である。GaN-HEMT における SET はゲート電極に負電圧を、ドレイン電極に大きな正電圧を印加した時に起こりやすい^[20]。SET はゲート電極近傍で発生している大きな局所電界集中(図7)により誘起されるものであると提案されており^[20,24]、SET はゲート電極近傍のみで起こると多くの研究者は考えてきた^[20]。

この矛盾を解消するモデルとして、我々は図8に示すような SET の時空間ダイナミクスを考案した。その実証のためには、空間的だけでなく時間的にも高分解能で GaN-HEMT 表面の電子状態を観測する必要がある。

また、そもそも、DC 電圧下での解析だけではデバイス動作を完全に理解することは不可能であることは電子工学的観点からは当然である。デバイス動作の精密解析は、等価回路モデルに基づいて行われる。等価回路モデルとは、複雑な機能を抵抗・容量・インダクタの組合せにより表現するものである^[25](図9)。抵抗成分は DC 電圧下でも測定できる。一方、容量やインダクタの成分は、DC 電圧下では測定困難であり、非 DC 電圧下において測定できるものである。ゆえに、オペランド分光は、DC 電圧下だけでなく非 DC 電圧

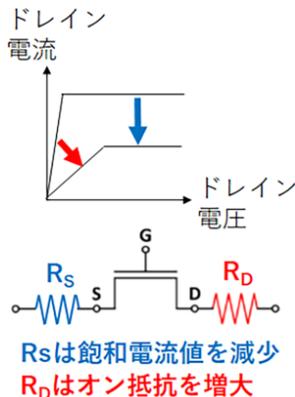


図6 ドレイン電流-ドレイン電圧曲線の解釈

下で計測できるようになって初めて価値のあるものになるという結論に至る。

そこで、我々は BL25SU に設置されている一括投影型光電子顕微鏡 (PEEM) (空間分解能: < 100 nm) と大沢らが開発した高精度 X 線チョッパー^[26,27]を組み合わせることで、オペランド高時空間分解 X 線吸収分光 (*o*-STXANES) 計測(図10)の開拓に取り組んだ^[28]。

本計測においては、DC 電圧下でのオペランド・ナノ光電子分光で用いた同じ GaN-HEMT 試料を用いている。その理由の一つは、DC 電圧下計測結果と比較できる点である。もう一つは、本試料は、GaN-HEMT を商用化した住友電工から提供されたものであり、耐久性・信頼性・再現性の点で極めて優れているからである。



図7 GaN-HEMT 表面近傍の電界分布

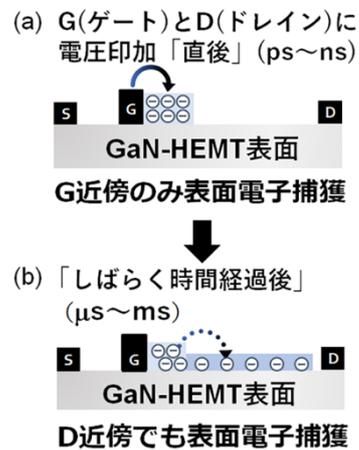


図8 我々が提唱した SET 機構

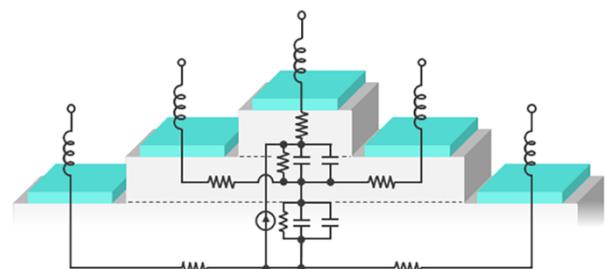


図9 バイポーラトランジスタの等価回路モデル

本計測は、GaN-HEMT への電圧印加と X 線チョッパーを同期させて行った (図 10)。すなわち、ポンプを印加電圧としてプローブを放射光としたポンプ・プローブ測定を繰り返すことで、高い統計精度を有する σ -STXANES フルスペクトルを取得することに初めて成功した。このようにして、印加電圧の変化により、GaN-HEMT の電子状態が時空間的に変化していく様子を観測した。

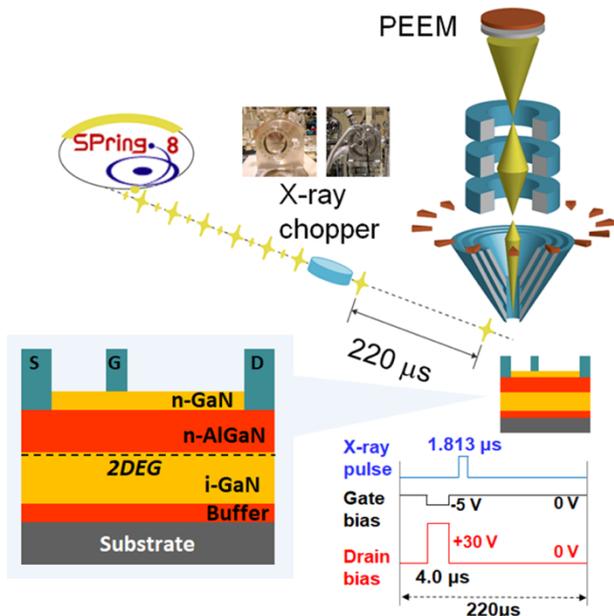


図 10 今回の σ -STXANES 計測系の概略

その σ -STXANES 計測結果を図 11 に示す。本 σ -STXANES スペクトルにおいて注目すべき点は、peak A である。peak A は Ga 2p^{3/2} から伝導帯への X 線吸収過程を反映したものである^[29-31]。そして、peak A は Ga-N の共有結合性を反映するものであり、peak の弱化は共有結合性の増加を示す^[31]。 σ -STXANES 計測結果から、ゲート電極近傍において印加電圧を切った直後 (1 マイクロ秒後、図 11(c)) のみ peak A が弱化している、すなわち、共有結合性が増していることが分かる。

この結果は、次のように解釈される。電圧印加により、GaN-HEMT 表面に存在するドナー型表面準位は、(1)式に示される電気化学反応により中性化される。



この電荷授受は、印加電圧に起因して生じる大きな局所電界により誘起される。この大きな局所電界がゲート電極近傍のドレイン側に集中しているため、(1)の反応に従って起こる SET がゲート電極のドレイン側においてのみ進行するものと考えられる。そして、(1)は早い時定数を有する可逆反応であり、印加電圧を切ると表面捕獲電子は速やかに放出されると解釈される。よって、今回の観測結果は、我々が提案した SET の初期過程 (ns~ μ s) (図 8(a)) を支持する^[28]。

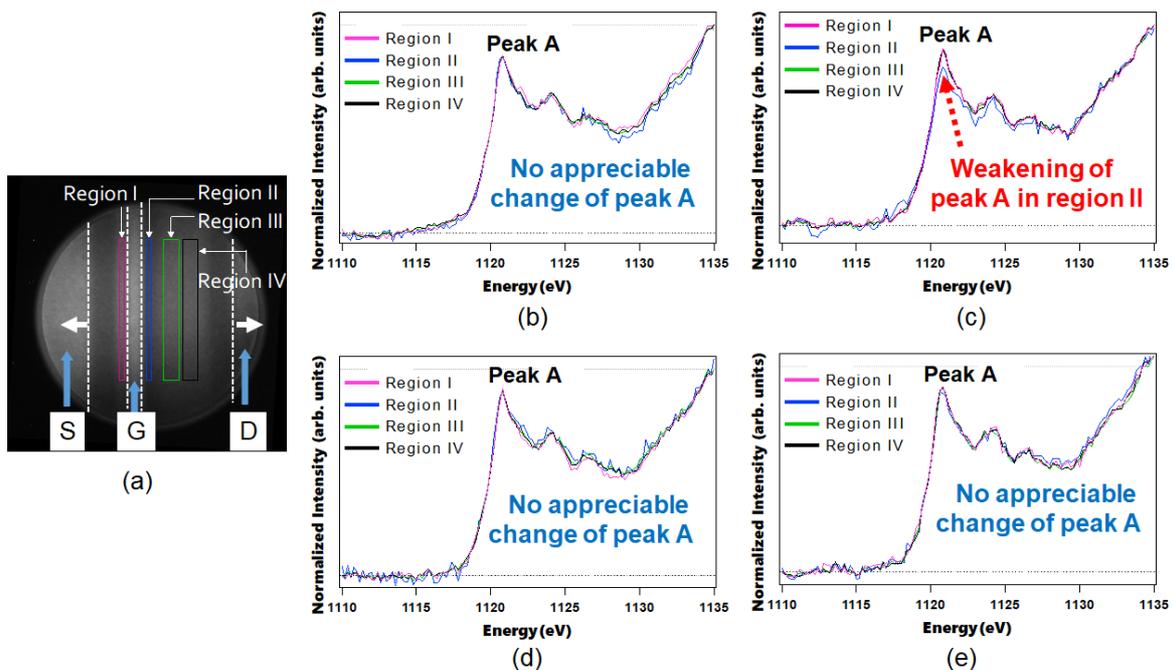


図 11 σ -STXANES 計測結果。(a) GaN-HEMT の σ -STXANES 像。S、G、D はソース、ゲート、ドレインである。視野直径は 15 μ m。ST-XANES spectra of the regions I-IV、(b) 電圧印加前、(c) 印加電圧を切った 1 マイクロ秒後、(d) 27 マイクロ秒後、(e) 34 マイクロ秒後の領域 I・II・III・IV の σ -STANES スペクトル。

一方、今回の観測結果は、ゲート電極近傍のみにおいて SET が観測されたという点で、DC 電圧下の結果と異なる。この違いを説明するものは、表面ホッピングであると考えられる^[24]。すなわち、ゲート電極近傍にあった表面捕獲電子が表面に沿って伝導し、ドレイン近傍まで存在するようになると考えられる^[28] (図 8(b))。

今回の研究成果は、等価回路の観点から、図 12 のように解釈される。この等価回路は、表面電子捕獲に起因する摂動項、および、それ以外の非摂動項からなる。摂動項は抵抗と容量からなる回路で表されている。摂動項の時定数は抵抗と容量の積で決まる。この時定数が、式(1)で表される表面電子捕獲ダイナミクスの時定数に相当する。

以上、我々はオペランド時空間 X 線分光を開拓し、巨視的な電気特性評価では不可能だった表面電子捕獲の時空間ダイナミクス計測を実現し、さらに、その観測結果により等価回路モデリングによるデバイス動作の機構解明に資するものとなることを示した。

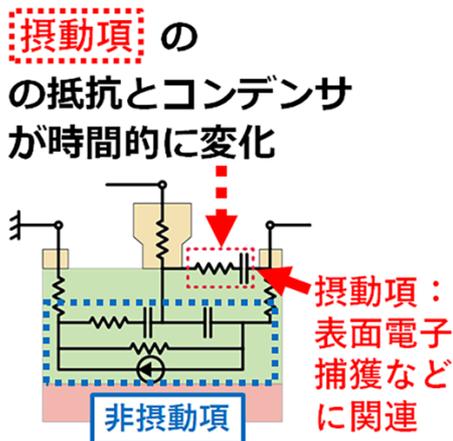


図 12 簡便な等価回路モデルによる解釈

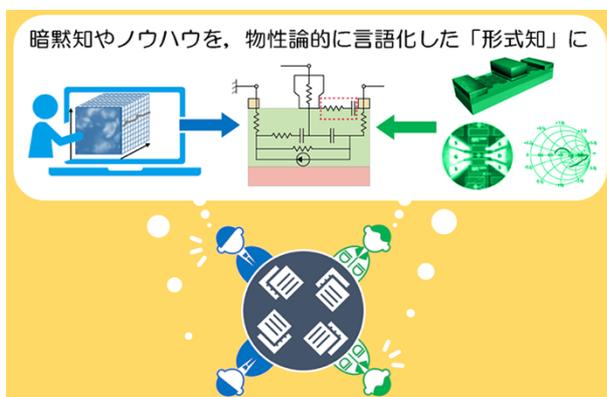


図 13 オペランド時空間 X 線分光による新たなデバイス・物質科学の土壌の創出

4. 今後の展望

しかし、このままでは、オペランド時空間 X 線分光計測を用いて、デバイス動作機構の完全解明には至らない。それは、等価回路モデリングに任意性があるからである。例えば、前節の GaN-HEMT のデバイス動作を表現する等価回路モデルにおいては、摂動項を抵抗と容量の直列にしたが、並列や、さらには電流源を追加したものとして表すこともできることが知られている。すなわち、これらのいずれの場合でも、各成分の値を都合よく設定することで、電気特性の周波数依存性の実測値を再現できてしまうのである。オペランド時空間 X 線分光だけで適切な等価回路を選択できるようにになればよいが、実際には、困難であるケースがでてくることが予想される。

そこで、我々が提唱しているデバイス・インフォマティクス (DI) の創成が不可欠になる。DI とは、膨大なオペランド計測データの中から機能発現に本質的に関与する物性・構造の時空間ダイナミクスを抽出し、それとマクロに出力されるナノデバイス機能を結び付ける定量可視化した数理モデル (例：等価回路モデル) を機械学習の援用により導出し、機能発現機構を定量可視化する手法のことである。DI を用いて、物性論に基づいて等価回路を適切に選択できるようになれば、デバイスに留まらず、その上の階層である (計測用) 回路とナノ物性ダイナミクスを定量的に結び付けることができ、機能計測値から物性を真に理解することができるようになる。応用面に関しても、例えば、先端デバイス構造設計 (フィールド・プレートやリセス構造) や回路動作の問題 (サイドゲート効果など) を物性論の観点から精密に議論できるようになるなど、オペランド時空間 X 線分光計測・DI が重要な貢献を果たすようになる。

本研究は電子・光デバイスに限られるものではなく、電気化学反応に基づくデバイス (例：Li イオン電池や燃料電池) などにあてはまる。実際、電気化学反応の詳細を詳らかにするには、電気化学反応の周波数依存性を調べ、等価回路モデルに基づいて定量可視化して解析することが不可欠である^[32]。例えば、電気化学二重層や重要な電気化学パラメータでありながら未解明である Warburg インピーダンスの働きを定量可視化して物性論的に精密に解明することは重要なテーマになるであろうと予想される。

このようにして我々は、デバイス開発者が有する「暗黙知・ノウハウ」を、数理的に言語化した「形式知」にして創出することを目指している。これにより、デバイス開発者と物性研究者が共通の言語で議論できるようになり、新たなデバイスを生む土壌が醸成されることが期待される (図 13)。

謝辞

本研究は、SPring-8 BL25SU のスタッフを始めとする関係者各位の多大なるご助力の下、SPring-8 の利用研究課題として遂行された (課題番号:2016A1523、2016B1605)。本研究に関連して小嗣真人先生 (東京理科大学)、木下豊彦博士 (JASRI)、尾嶋正治先生 (東京大学)、松田巖先生 (東京大学)、渡邊一世博士 (情報通信研究機構) から有益なご助言および討論をいただいた。本稿に関連する研究は、科研費 (15H03560、23000008、16H06361、16H00953、18K19011、19H02590)、総務省戦略的情報通信研究開発事業 (SCOPE) のフェーズ I・フェーズ II、NEDO 産学連携マッチングファンド、住友電工グループ社会貢献基金、村田学術振興財団研究助成金、住友電工および信越化学からの受託研究費などによる助成を受けた。

参考文献

- [1] 吹留博一: 応用物理 **89** (2020) 529-533.
- [2] H. Fukidome, Y. Miyamoto, H. Handa, E. Saito and M. Suemitsu: *Jpn. J. Appl. Phys.* **49** (2010) 01AH03.
- [3] H. Fukidome, R. Takahashi, S. Abe, K. Imaizumi, H.-C. Kang, H. Karasawa, T. Suemitsu, T. Otsuji, Y. Enta, A. Yoshigoe, Y. Teraoka, M. Kotsugi, T. Ohkouchi, T. Kinoshita and M. Suemitsu: *J. Mater. Chem.* **21** (2011) 17242-17248.
- [4] M. Suemitsu and H. Fukidome: *J. Phys. D.* **43** (2010) 374012.
- [5] T. Someya, H. Fukidome, H. Watanabe, T. Yamamoto, M. Okada, H. Suzuki, Y. Ogawa, T. Iimori, N. Ishii, T. Kanai, K. Tashima, B. Feng, S. Yamamoto, J. Itatani, F. Komori, K. Okazaki, S. Shin and I. Matsuda: *Phys. Rev. B* **95** (2017) 165303.
- [6] F. Mitsushashi, M. Okada, Y. Tateno, T. Nakabayashi, M. Ueno, H. Nagasawa, H. Fukidome and M. Suemitsu: *MRS Adv.* **2** (2017) 51-56.
- [7] M.-H. Jung, G.-H. Park, T. Yoshida, H. Fukidome, T. Suemitsu, T. Otsuji and M. Suemitsu: *Proc. IEEE* **101** (2013) 1603-1608.
- [8] K.-S. Kim, G.-H. Park, H. Fukidome, T. Someya, T. Iimori, F. Komori, I. Matsuda and M. Suemitsu: *Carbon* **130** (2018) 792-798.
- [9] K. Sugawara, T. Kawasaki, G. Tamamushi, M. B. Hussin, A. Dobroiu, T. Yoshida, T. Suemitsu, H. Fukidome, M. Suemitsu, V. Ryzhii, K. Iwatsuki, S. Kuwano, J.-I. Kani, J. Terada and T. Otsuji: *J. Lightwave Technol.* **34** (2016) 2011-2019.
- [10] H. Fukidome, M. Kotsugi, K. Nagashio, R. Sato, T. Ohkouchi, T. Itoh, A. Toriumi, M. Suemitsu and T. Kinoshita: *Sci. Rep.* **4** (2014) 3713.
- [11] N. Nagamura, H. Fukidome, K. Nagashio, K. Horiba, T. Ide, K. Funakubo, K. Tashima, A. Toriumi, M. Suemitsu, K. Horn and M. Oshima: *Carbon* **152** (2019) 680-687.
- [12] R. Suto, G. Venugopal, K. Tashima, N. Nagamura, K. Horiba, M. Suemitsu, M. Oshima and H. Fukidome: *Mater. Res. Exp.* **3** (2016) 075004.
- [13] T. Suzuki, T. Iimori, S.-J. Ahn, Y. Zhao, M. Watanabe, J. Xu, M. Fujisawa, T. Kanai, N. Ishii, J. Itatani, K. Suwa, H. Fukidome, S. Tanaka, J.-R. Ahn, K. Okazaki, S. Shin, F. Komori and I. Matsuda: *ACS Nano* **13** (2019) 11981-11987.
- [14] H. Fukidome, M. Matsumura, T. Komeda, K. Namba and Y. Nishioka: *Electrochem. Solid-State Lett.* **2** (1999) 393-394.
- [15] H. Fukidome, O. Pluchery, K. T. Queeney, Y. Caudano, K. Raghavachari, M. K. Weldon, E. E. Chaban, S. B. Christman, H. Kobayashi and Y. J. Chabal: *Surf. Sci.* **502-503** (2002) 498-502.
- [16] H. Fukidome, K. Nagashio, N. Nagamura, K. Tashima, K. Funakubo, K. Horiba, M. Suemitsu, A. Toriumi and M. Oshima: *APEX* **7** (2014) 065101.
- [17] G. Kamata, G. Venugopal, M. Kotsugi, T. Ohkouchi, M. Suemitsu and H. Fukidome: *Phys. Stat. Solid. (a)* **216** (2019) 1800539.
- [18] K. Omika, Y. Tateno, T. Kouchi, T. Komatani, S. Yaegashi, K. Yui, K. Nakata, N. Nagamura, M. Kotsugi, K. Horiba, M. Oshima, M. Suemitsu and H. Fukidome: *Sci. Rep.* **8** (2018) 13268.
- [19] A. Kawano, N. Adachi, Y. Tateno, S. Y. Mizuno, N. Ui, J. I. Nikaido and S. Sano: *Asia-Pacific Conference Proceedings (APMC 2005)* **3** (2005) 1606618.

- [20] R. Vetury, N. Q. Zhang, S. Keller and U. K. Mishra: *IEEE Trans. Electron Dev.* **48** (2001) 560-566.
- [21] G. Meneghesso, F. Rampazzo, P. Kordos, G. Verzellesi and E. Zanoni: *IEEE Trans. Electron Dev.* **53** (2006) 2932-2941.
- [22] J. P. Ibbertson, P. T. Fini, K. D. Ness, S. P. DenBaars, J. S. Speck and U. K. Mishra: *Appl. Phys. Lett.* **77** (2000) 250.
- [23] H. Hasegawa and M. Akazawa: *J. Vac. Sci. Technol. B* **27** (2009) 2048-2054.
- [24] R. J. Trew, D. S. Green and J. B. Shealy: *IEEE Microwave Mag.* **10** (2009) 116-127.
- [25] A. R. Alt, D. Marti and C. R. Bolognesi: *IEEE Microwave Mag.* **14** (2013) 83-101.
- [26] H. Osawa, T. Kudo and S. Kimura: *Jpn. J. Appl. Phys.* **56** (2017) 048001.
- [27] H. Osawa, T. Ohkochi, M. Fujisawa, S. Kimura and T. Kinoshita: *J. Synchrotron Rad.* **24** (2017) 560-565.
- [28] K. Omika, K. Takahashi, A. Yasui, T. Ohkochi, H. Osawa, T. Kouchi, Y. Tateno, M. Suemitsu and H. Fukidome: *Appl. Phys. Lett.* **117** (2020) 171605.
- [29] T. Mizoguchi, I. Tanaka, M. Kunisu, M. Yoshiya, H. Adachi and W. Y. Ching: *Micron* **34** (2003) 249-254.
- [30] T. Mizoguchi, I. Tanaka, S. Yoshioka, M. Kunisu, T. Yamamoto and W. Y. Ching: *Phys. Rev. B* **70** (2004) 045103.
- [31] T. Mizoguchi, T. Yamamoto, T. Suga, M. Kunisu, I. Tanaka and H. Adachi: *Mater. Trans.* **45** (2004) 2023-2025.
- [32] J. E. B. Randles: *Discuss. Faraday Soc.* **1** (1947) 11-19.

吹留 博一 *FUKIDOME Hirokazu*

東北大学 電気通信研究所
 〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平 2-1-1
 TEL : 022-217-5484
 e-mail : fukidome@riec.tohoku.ac.jp

大美賀 圭一 *OMIKA Keiichi*

東北大学 電気通信研究所
 〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平 2-1-1
 TEL : 022-217-5484

河内 剛志 *KOUCHI Tsuyoshi*

住友電気工業株式会社
 〒244-8588 神奈川県横浜市栄区田谷町 1
 TEL : 045-853-7182 (代)

館野 泰範 *TATENNO Yasunori*

住友電気工業株式会社
 〒244-8588 神奈川県横浜市栄区田谷町 1
 TEL : 045-853-7182 (代)

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・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 : 0791-58-0802 ext 3387
 e-mail : a-yasui@spring8.or.jp

大沢 仁志 *OSAWA Hitoshi*

(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・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 : 0791-58-0802 ext 3263
 e-mail : hitoshio@spring8.or.jp

大河内 拓雄 *OHKOCHI Takuo*

(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・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 : 0791-58-0802 ext 3924
 e-mail : o-taku@spring8.or.jp

(JASRI 理事長ファンド採択研究課題)

斜入射 X 線を用いた薄膜フォノンの研究 ～フォノン測定から見る熱特性～

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

内山 裕士

Abstract

デバイスの小型化・高性能化に伴い、その熱制御が重要となっている。デバイス中の熱は主にフォノンによって伝搬されることから、熱特性の微視的な起源を調べる手段としてフォノン測定や計算が活発に行われている。SPRING-8 の非弾性 X 線散乱法は、対象に単結晶試料を用いた場合、そのフォノン分散を測定することができる。この手法を元に、斜入射条件では X 線の侵入長が短い特性を利用し、よりデバイスの環境に近い薄膜 (> μm 厚) において効率的なフォノン分散測定を可能とした。本稿ではその研究成果を紹介する。

1. 熱とフォノン

近年、デバイス性能向上のために熱の制御が重要となっている。一例をあげると、デバイスの微細化・高集積化に伴い、デバイス内部に熱が蓄積しやすくなっている。このような熱はデバイス特性にとって障害となるため、排熱を効率的に行うことが必要となる。逆の例を挙げると、熱電材料開発においては、熱電効率を上げるため、排熱しにくい材料を用いることが重要となる。

巨視的に見た場合、熱の伝わり方は熱伝導率 κ で表現される。熱を速く伝えたい (排熱を速く進めたい) 場合には大きな κ を持つ素材を、逆に排熱を遅くしたい場合には小さな κ を持つ素材を、本来のデバイス特性に加味して選ぶことが重要となる。微視的に見た場合、固体内で熱を伝えるのはエネルギーを持った粒子 (電子やフォノン) である。デバイスは通常半導体や絶縁体で構成されており、フェルミ準位付近に熱を伝えるだけの十分な電子が存在しない。従って、主としてフォノンが熱を伝えることになる。フォノンが関与する熱伝導率を格子熱伝導率 κ_{lat} と言う。

格子熱伝導率 κ_{lat} は波数 \mathbf{q} 、モード j のフォノンを独立粒子とみなすと、線形ボルツマン方程式より、

$$\kappa_{\text{lat}} = \sum_{\mathbf{q}, j} C_{V\mathbf{q},j} \mathbf{v}_{\mathbf{q},j} \otimes \mathbf{v}_{\mathbf{q},j} \tau_{\mathbf{q},j}^0 \quad \dots (1)$$

と書ける¹⁾。ここで $\mathbf{v}_{\mathbf{q},j}$ はフォノン速度 ($[\mathbf{v}_{\mathbf{q},j}]_{\alpha} = \partial E_{\mathbf{q},j} / \partial q_{\alpha}$)、 $C_{V\mathbf{q},j}$ は定積比熱 (温度 T とフォノンエネルギー $E_{\mathbf{q},j}$ の関数)、 $\tau_{\mathbf{q},j}^0$ は独立粒子フォノンの寿命 (緩和時間) である。式(1)はフォノンのエネルギーと寿命が分かれば巨視的な熱伝導が求められることを示す。しかし、この式は 2000 年代頃まで厳密に計算されてこなかった。これは、式(1)から明らかなように全フォノンが計算に寄与すること、および (後述するように) フォノン寿命 $\tau_{\mathbf{q},j}^0$ の計算が複雑であること、から以前の計算機にはこの式(1)を厳密に計算する能力がなかったことが大きい。従って 2000 年代以前ではフォノンの詳細はそれほど重視されず、フォノンを議論する際にはフォノン速度 $\mathbf{v}_{\mathbf{q},j}$ の大きい音響フォノンを単純化したデバイモデルなどが用いられ、フォノンと熱の詳細な関わりについては十分な検討が行われてこなかった。

フォノンを説明する最も簡単な近似は調和振動子近似である。この近似下でフォノンは永遠に振動が続き、すなわちフォノン寿命は無有限大 ($\tau_{\mathbf{q},j}^0 = \infty$) であり、式(1)から熱伝導 κ_{lat} は無有限大となる。しかし、実際の物質では熱伝導は有限で、フォノンには常に寿命がある。この有限のフォノン寿命は、フォノンが他のフォノンや電子・欠陥などで散乱する結果、生じる。フォノン散乱過程を図 1 にまとめた。フォノンは図 1(a)

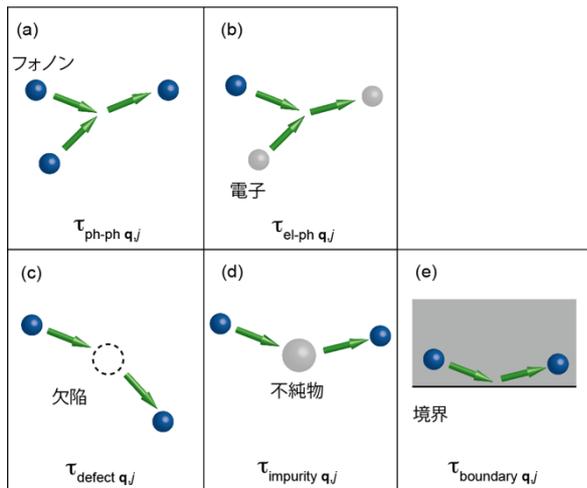


図1 フォノンの散乱機構。(a) フォノン-フォノン散乱、(b) 電子格子相互作用、(c) 欠陥によるフォノン散乱、(d) 不純物によるフォノン散乱、(e) 試料境界によるフォノン散乱。

にあるように他のフォノンと相互作用したり（フォノン-フォノン散乱）、図1(b)にあるように（ドーパされた半導体試料において）電子と相互作用して（電子格子相互作用。なお、一般にこの電子格子相互作用における熱輸送は電子単体における熱輸送よりも大きな寄与を持つ）寿命を持つ。同様に、図1(c-e)にあるように欠陥や不純物や試料境界でフォノンが散乱する結果、寿命を持つ場合もある。近似的にフォノンの寿命 $\tau_{q,j}^0$ はそれぞれの寿命の寄与の和として表すことができる（Matthiessen 則^[2]）。

$$\frac{1}{\tau_{q,j}^0} = \frac{1}{\tau_{ph-ph,q,j}} + \frac{1}{\tau_{el-ph,q,j}} + \frac{1}{\tau_{defect,q,j}} + \frac{1}{\tau_{impurity,q,j}} + \frac{1}{\tau_{boundary,q,j}} + \dots \quad \dots(2)$$

例えば、フォノン-フォノン散乱 ($\tau_{ph-ph,q,j}$) を計算で求める場合、図1(a)からも分かるように、ハミルトニアン³の3次の摂動が必要となる。（前述のように）この計算量は膨大で、以前の計算機では算出不能であった。しかし、現在では（任意の波数 q 、フォノンモード j での） $\tau_{ph-ph,q,j}$ の算出は可能となっている。同様に他の散乱機構についても現在の計算機能力で算出可能となってきている。

なお、このようなフォノン寿命の議論は熱伝導率 κ_{lat} だけでなく、極性半導体において高電界中電子と光学フォノンとの相互作用を議論する際にも重要となる（詳細については文献[3,4]などを参照）。

2. フォノン測定

実験で得られるフォノン線幅 γ からは全寿命 $\tau_{q,j}^0 (= h/\gamma)$ を評価することができる。したがって、計算結果と実験結果を比較することにより、図1(a-e)のどのフォノン散乱機構が熱伝導に寄与しているかを調べることができる。そのような知見はデバイス開発にとって重要な指標を与える。

一般的にフォノン情報は、プローブを試料に当てて、出てきたプローブのエネルギーの変化分 ($E_f - E_i$) と運動量変化分 ($k_f - k_i$) を測定することによって得られる（図2）。フォノンを測定するプローブとしては、光、中性子、電子などがある。このうち電子をプローブとする手法は一般的に侵入長が最も短く（ $\sim \text{\AA}$ オーダー）、主に表面フォノンの研究に用いられる（EELS; Electron Energy-Loss Spectroscopy）。中性子をプローブとする手法は侵入長が最も長く（通常 $\gg \text{mm}$ ）、フォノン分散を測定する手法としては長い歴史を有している（非弾性中性子散乱 (INS; Inelastic Neutron Scattering) 法）。

光をプローブとする場合、可視光では波長が長く、運動量変化分 ($k_f - k_i$) が常に ~ 0 となる。これは逆格子空間上の Γ 点に対応する、言い換えると、可視光をプローブとした場合、 Γ 点のフォノンのみが測定可能であり、それ以外のフォノン分散を見ることは基本できない。これに対して、波長の短いX線を用いて、フォノン分散測定を行う手法がSPring-8 BL35XU や BL43LXU に敷設された非弾性 X 線散乱 (IXS; Inelastic X-ray Scattering) 法である。SPring-8 ではフォノンが測定できるような高いエネルギー分解能を生み出すために、Siの高次反射を利用しており、主としてエネルギー分解能 $\sim 1.5 \text{ meV}$ （入射エネルギー $h\nu = 21.7 \text{ keV}$ 、Si(11 11 11)反射）と 3 meV （同 17.8 keV 、Si(9 9 9)反射）の光を用いている^[5]。フォ

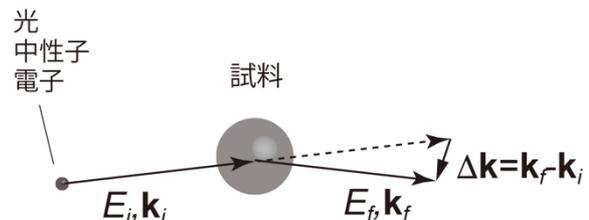


図2 フォノン測定の原理。プローブ（光、中性子など）を試料に当てて、エネルギー変化と運動量変化を測定する。

ノン分散が測定できるという意味では前述の INS や EELS と同じ手法であるが、INS と比較すると X 線は集光ができるので微小試料 (〜20 μm) の測定が可能である。また、電子線に比べて X 線はその侵入長が長いので (μm 〜 mm オーダー)、物質のバルクフォノン測定することができる。

フォノン寿命に注目すると、従来は Raman 散乱分光を用いた研究が多く行われてきた。Raman 散乱分光では通常可視光レーザーが用いられることから、 Γ 点にある光学フォノンの寿命しか情報が得られなかった (例えば、GaN 光学フォノンの寿命測定^[6,7])。しかし、2010 年代に入って、INS や IXS を用いてスペクトル線幅を測定することにより、フォノン寿命を評価し、熱伝導の微視的な起源を明らかにする研究が行われている (例えば、INS による PbTe の寿命測定^[8])。

3. 薄膜への応用

前述のように対象物に対する X 線の侵入長は、 μm 〜 mm オーダーであるが、斜入射 X 線回折法 (GIXRD; Grazing Incidence X-Ray Diffraction) に見られるように、試料表面に対する入射角 (α) を臨界角前後まで小さくすると (図 3(a))、侵入長を短くすることができる。この性質を利用することによって薄膜のフォノン計測を行うことが可能となる。本研究に先立つ先行研究として IXS でも薄膜を対象として、SPRING-8^[9,10] や ESRF^[11,12] ですでにいくつかの報告が行われている。本研究では、GIXRD の知識を元に、より効率的な薄膜フォノン測定の方法を確立することを目指した。

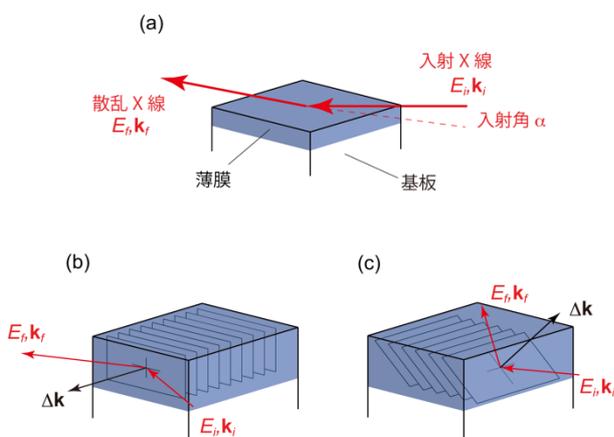


図3 (a) 斜入射条件 X 線散乱の一般的配置。(b,c) フォノン測定に適した 2 つの斜入射条件配置: in-plane 配置(b)および out-of-plane 配置(c)。

本研究は SPring-8 BL35XU にて行われた。

斜入射条件を維持するためには斜入射角度が精度よく測定できなければならない。20 keV 付近の X 線では通常臨界角は $0.1 \sim 0.2^\circ$ 程度であることから、入射角の制御精度として、 $< \pm 0.02^\circ$ 程度が必要となる。しかし、従来の BL35XU 標準のソフトおよびハードではこの精度を得ることはできなかった。ハードの面から言えば、通常の 4 軸回折系 ($2\theta, \omega, \chi, \phi$) では試料の面方位は求めることができても試料自身の表面の傾きを求めることができない。そのため、入射角に対して最大 0.5° 程度の誤差が生じる。この誤差は、試料 (基板/薄膜) の面方位が試料表面と必ずしも垂直でないことによる影響が大きいと考えられる。この問題を解決するために、通常の 4 軸回折系に 2 軸のゴニオメータ (χ_A, ϕ_A) を追加した (図 4(a,b))。装置の特性上、従来の 4 軸回折系のうち、 ω 軸回転には制約 ($\sim 20^\circ$) があるが、 ϕ 軸については 360° 回転が可能である。 ϕ 軸と追加した 2 軸 (χ_A, ϕ_A) を組み合わせると、 ϕ 軸回転に対して 90° 間隔で入射 X 線と試料表面が平行になる条件を容易に探し出すことができる。これは (試料が平坦な表面を持っているという仮定の下で)、任意の軸回転 ($\omega, \chi, \phi, \chi_A, \phi_A$) 操作に対して、

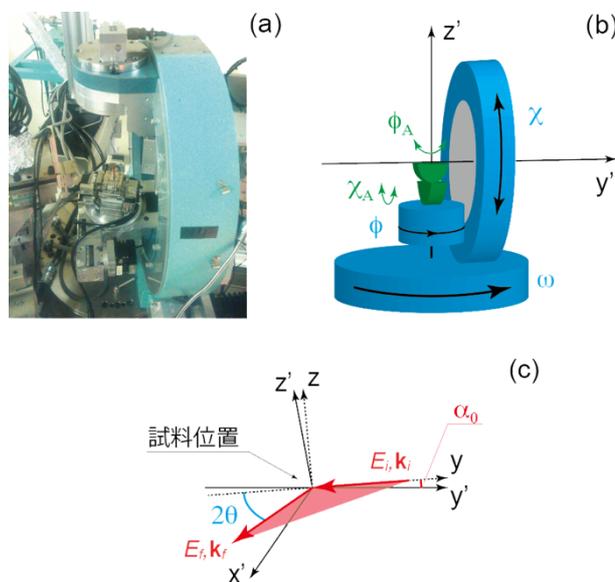


図4 (a,b) 2 軸ゴニオメータ (χ_A, ϕ_A) が追加された 4 軸回折系 ($2\theta, \omega, \chi, \phi$): 実際の装置写真(a)および回転方向の模式図(b)。従来の回転軸を青色で、追加の回転軸を緑色で示す。(c) 実験室上の空間 (x', y', z' 軸で構成される) とソフトウェア上の空間 (xy 平面 (図中赤色平面) と y, z 軸で構成される)。

試料表面の傾きを評価できることを意味する。次にソフト上の問題点であるが、BL35XU で制御に用いている CSS 社の spec はその定義で、「入射 X 線は y 軸を逆行し、散乱 X 線は xy 面内にある」としている。しかし、実際の装置では Si 高次反射を利用した背面反射分光器と集光ミラーが試料前の光学系に配置されているため、入射光は試料位置で通常 0.2° ほど (図 4(c)中、 α_0) 水平面 (同、 $x'y'$ 平面) からずれている。さらに、検出する散乱光も水平面上にない。バルク試料測定では α_0 を無視し (y 軸と y' 軸を一致させ)、散乱 X 線が水平面上にあると近似して、本ソフトを使用しているが、この使用法では入射角を正確に評価することができない。この問題を解決するために、ソフトの定義するデカルト直交座標 (xyz) と実験室上の空間を示す直交座標 ($x'y'z'$) (図 4(c)) を相互に変換するような一次写像 f (およびその逆写像 f^{-1}) をソフト上に組み込むこととした。これらハード面・ソフト面の改良をすることによって、入射角度を $\pm 0.02^\circ$ 程度で制御することが可能となった。

GIXRD の場合、基板に X 線が到達して基板の Bragg ピークを検出したとしても、薄膜の Bragg ピークと基板の Bragg ピーク位置が逆格子空間上で異なる場合には、薄膜の Bragg ピークを評価することができる。しかし、フォノン測定の場合には Brillouin 域の全てにフォノンが存在するため、基板に X 線が到達してしまうと、基板のフォノンが検出されてしまう。薄膜のフォノンのみを測定するためには基板に X 線が入らない配置が必要となる。そのような配置は大きく分けて 2 つある (図 3(b,c))。1 つは基板すれすれに X 線を入射し面内の情報を得る in-plane 散乱 (図 3(b)) であり、もう 1 つは基板すれすれに X 線を入射し面内以外の情報を得る out-of-plane 配置 (図 3(c)) である。この 2 つの配置は実験の目的によって使い分けることができる。例えば、out-of-plane 配置では出射角が大きく、多くの散乱光を集めることができるという利点がある。しかし、この配置では基本的にフォノン振動の分極を分けることができず、縦分極 (longitudinal phonon mode) と横分極 (transverse phonon mode) が同時に観測されるため複雑なフォノン構造を持つ物質には適さない。

なお、斜入射 X 線を用いたフォノン測定の場合、臨

界角よりも入射角を小さくし、全反射条件になると、侵入長が短くなりすぎ、表面フォノンが観測されてしまう^[13]。そのため、実験条件は常に臨界角以上であることが求められる。この制約のため、測定可能な膜厚はおおよそ $0.5 \mu\text{m}$ 程度が下限となる。特に X 線が透過しやすい軽元素 (Si など) 薄膜試料の場合、この下限は大きく上昇する。

4. 設定例

実際の測定例として HPVE (Hydride Vapor Phase Epitaxy) 法で作製された $40 \mu\text{m}$ 厚の ScN(110) 薄膜 (基板: サファイア m 面)^[14] を用いた研究を示す^[15]。ScN は NaCl 構造を持ち、窒化物半導体における熱電材料として期待されている物質である^[16-18]。

前述のように得られる IXS スペクトルに対して基板のフォノンを排除して、薄膜のフォノンだけを測定する必要がある。そこで、フォノン測定に先立ち BL35XU の装置を用い、GIXRD を行うことにした。入射光として 21.747 keV の X 線を用いた。

図 5 に薄膜 (ScN) および基板 (サファイア) の GIXRD を示す。測定した Bragg ピークは ScN が (400) (図 5(a))、サファイアが (220) (図 5(b)) であり、out-of-plane 配置 (図 3(c)) に対応する。結晶と回折の方向を図 5(c) に示す。図 5(b) より、入射角を 1.7° 以下にすれば基板サファイアの寄与を抑えることができることが分かる。そこで入射角 α を $1.1 \sim 1.7^\circ$ に制御して IXS 測定を行うこととした。

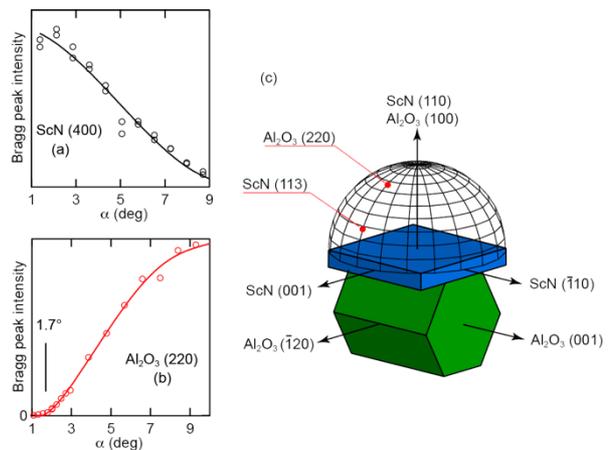


図 5 ScN/サファイア基板の GIXRD 入射角 (α) 依存性。(a) および (b) は ScN(400) およびサファイア(220) の入射角依存性をそれぞれ示す。(c) は結晶および測定した Bragg 回折の方位を示す。

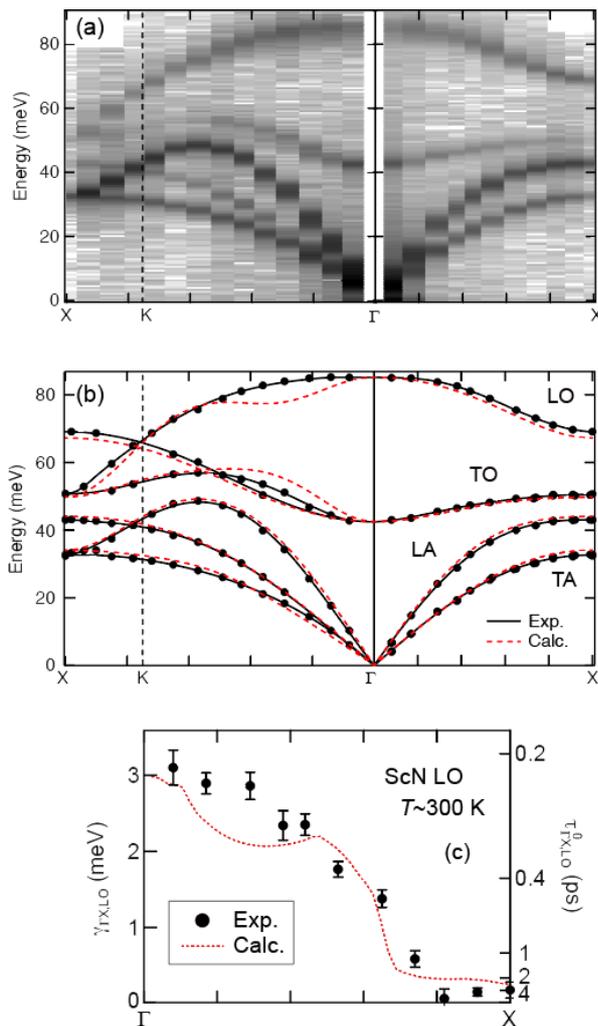


図6 (a) ScN 薄膜の IXS スペクトル^[15]。得られたスペクトルを対数表示している。(b) 実験結果と DFT 計算との比較。(c) Γ -X 方向 ((a,b)の右側)、縦光学フォノンにおけるフォノン線幅 (γ) の実験と計算の比較。

IXS 測定結果を図 6(a)に、実験的に得られたピーク位置と DFT (density functional theory) 計算結果の比較を図 6(b)に示す。実験では out-of-plane 配置 (図 3(c)) を用い、21.747 keV (エネルギー分解能 \sim 1.5 meV) の X 線を用いた。 Γ -X の方向 (図 6(a)右) については、 $\Delta\mathbf{k} = (1\ 1\ 3+q)$ の条件で測定を行い、 Γ -K-X の方向 (図 6(a)左) については、 $\Delta\mathbf{k} = (3+q\ -1\ -q\ -1)$ の条件で室温において測定を行っている。Out-of-plane 配置を用いたため、縦分極 (longitudinal acoustic phonon (LA) と longitudinal optical phonon (LO)) と横分極のフォノン (transverse acoustic phonon (TA) と transverse optical phonon (TO)) が同時に観測されている。前述のように、この IXS 実

験では GIXRD の結果 (図 5) と組み合わせることによって、高精度な入射角制御を行っている。このため、薄膜測定にも関わらず、従来のバルク結晶測定と同様、効率的な測定が可能となった (図 6 を得るのにおおよそ 3 日間を要している)。実験結果について詳細に見ると、得られたフォノンピークは全て ScN に帰属でき、基板の寄与がない ScN 膜のみのフォノン測定に成功したことが分かる (図 6(b))。さらに得られた実験結果と DFT 計算がよく一致していることは図 6(b) から明らかであり、フォノン分散計算が十分高い精度にあることを示している。

Γ -X 方向の縦光学フォノン (LO、図 6(a)右) のフォノン線幅に注目すると (図 6(c))、実験から求められた線幅 (γ 、図 6(c)中黒丸) は DFT 計算から求められたフォノン-フォノン散乱による寿命 ($\tau_{\text{ph-ph } \mathbf{q},j}$ 、図 6(c)中赤点線) によく一致しており、この試料のフォノン散乱機構がフォノン-フォノン散乱で説明できることが分かる。実際、この計算から得られる格子熱伝導率は、 $\kappa_{\text{lat}} = 43\text{ W/m/K}$ ($T = 300\text{ K}$) であり、実際に測定した同一サンプルの熱伝導とよく一致する ($\kappa = 36.4\text{ W/m/K}$ (室温))。従来の報告では ScN 薄膜は比較的熱伝導が低いとされてきた ($\kappa = 10\text{--}20\text{ W/m/K}$ ^[16-18])。しかし、本研究から、フォノン-フォノン散乱のみを考慮した熱伝導率はかなり大きく、今まで得られた低い熱伝導率は別の機構による散乱 (例えば、欠陥による散乱 (図 1(c)) や不純物による散乱 (図 1(d))) に起因することが明らかになった。

5. おわりに

このように X 線の特徴を生かすことで、よりデバイス環境に近い薄膜材料について、フォノン分散や寿命が評価できるようになった。実験結果を計算と比較することによって、熱特性の微視的な起源についても議論可能となっている。本研究は装置上の改造であることから、他の試料への展開が容易である。実際すでに、外部ユーザーを受け入れ、1 μm 厚の HfN や HfN/ScN 超格子構造 (基板: MgO) の薄膜フォノン分散測定に成功している^[19]。

しかしながら、本手法はまだ完成されたとは言い難い。特に入射角を小さくした場合、X 線の照射領域 (foot print) が伸びることによる迷光の寄与や、室温

以上と室温以下での入射角測定の精度が大きく違うこと（冷凍機に適合したゴニオメータがないため）、など未解決の問題は多い。通常バルク単結晶測定並みの精度で実験が行えるよう、さらなる改善が望まれる。

謝辞

本研究は JASRI 理事長ファンド採択課題「斜入射 X 線を用いた薄膜フォノンの研究」の一環として行われた。プロジェクトの遂行にあたっては多くの方々に御助言いただいた。関係者の皆様に深く感謝する。実験は BL35XU (課題番号:2015A2030、2015B1980、2016B1495) で行われた。試料提供いただいた物質・材料研究機構の大島祐一氏および島村清史氏、フォノン寿命に関する議論をしていただいた New South Wales 大学の Robert Patterson 氏、熱伝導測定を行っていただいた東京大学の岩本壮太郎氏および塩見淳一郎氏にこの場を借りて深く御礼申し上げる。

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 ext 3856
e-mail : uchiyama@spring8.or.jp

参考文献

- [1] G. P. Srivastava: *The Physics of Phonons* (Taylor & Francis, 1990).
- [2] J. M. Ziman: *Electrons and Phonons* (Oxford, 1960).
- [3] H. Morkoç: *Nitride Semiconductor Devices* (Wiley-VCH, 2013).
- [4] G. Conibeer *et al.*: *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* **135** (2015) 124-129.
- [5] A. Q. R. Baron *et al.*: *J. Phys. Chem. Solids* **61** (2000) 461-465.
- [6] K. T. Tsen *et al.*: *Appl. Phys. Lett.* **72** (1998) 2132-2134.
- [7] D. Y. Song *et al.*: *J. Appl. Phys.* **100** (2006) 113504.
- [8] O. Delaire *et al.*: *Nat. Mater.* **10** (2011) 614-619.
- [9] M. Hoesch *et al.*: *Phys. Rev. B* **75** (2007) 140508(R).
- [10] H. Xia *et al.*: *Appl. Phys. Lett.* **110** (2017) 043102.
- [11] J. Serrano *et al.*: *Phys. Rev. Lett.* **106** (2011) 205501.
- [12] F. Caruso *et al.*: *Phys. Rev. Lett.* **119** (2017) 017001.
- [13] B. M. Murphy *et al.*: *Phys. Rev. Lett.* **95** (2005) 256104.
- [14] Y. Oshima *et al.*: *J. Appl. Phys.* **115** (2014) 153508.
- [15] H. Uchiyama *et al.*: *Phys. Rev. Lett.* **120** (2018) 235901.
- [16] V. Rawat *et al.*: *J. Appl. Phys.* **105** (2009) 024909.
- [17] P. V. Burmistrova *et al.*: *J. Appl. Phys.* **113** (2013) 153704.
- [18] S. Kerdsonpanya *et al.*: *J. Appl. Phys.* **120** (2016) 215103.
- [19] S. Chakraborty *et al.*: *Appl. Phys. Lett.* **117** (2020) 111901.

(JASRI 理事長ファンド採択研究課題)

硬 X 線光電子分光法によるバンドギャップ光励起下の 電子状態評価技術の開発

公益財団法人高輝度光科学研究センター

放射光利用研究基盤センター 産業利用・産学連携推進室

安野 聡

Abstract

半導体デバイスにおいて、バンドベンディングやバンドオフセットなどの電子状態を精密に評価して正確なバンド構造を把握することは電気特性の要因解析や特性改善の指標を得る上で重要である。本研究では多層膜構造など実際のデバイスに近い構造におけるバンド構造の定量的評価を可能とすることを目的として、BL46XU の硬 X 線光電子分光 (HAXPES, Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy) 装置をベースにバンドギャップ光励起による表面光起電力 (SPV, Surface photo-voltage) を応用した電子状態評価技術を開発した。本評価技術は半導体デバイスの他、材料の光化学的な反応や光による劣化の評価、太陽電池や光触媒における光照射下の電子状態評価など、様々な材料に応用することもできる。本稿では、本評価技術を用いた半導体デバイスのバンド構造評価や波長依存性を応用したバンドギャップ評価、酸化物半導体や太陽電池材料におけるバンドギャップ光照射下の電子状態、光劣化評価への応用事例を紹介する。

1. はじめに

硬 X 線光電子分光 (HAXPES) は、6~14 keV の硬 X 線を励起光として用いることから、一般に普及している軟 X 線 (~1.5 keV) 光電子分光 (XPS, X-ray Photoelectron Spectroscopy) に比べて、検出される光電子の運動エネルギーが数倍大きく、検出深さが大きくなる¹⁾。このため試料深部の電子状態や結合状態を非破壊で調べることが可能であり、これまでに半導体デバイスや太陽電池などのバンド構造、電子状態の評価に利用されている^{2,3)}。一方で、HAXPES によるバンド構造の評価は有用であるものの、多くの半導体表面や界面では蓄積層もしくは空乏層などのバンドベンディングが生じていることが一般的であり、その幅は半導体のキャリア密度やデバイス構造に依存して変化する (数 nm~数十 μm)。HAXPES における検出深さは数十 nm 程度であり、バンドベンディングの幅がそれよりも大きい場合は、基準となる半導体中のポテンシャル位置 (バンドがフラットな位置) が不明なため、バンドベンディング量を求めるためには、半導体層自体が持つキャリア密度などから計算によっ

て求めたフェルミ準位を仮定する必要がある。HAXPES は分析深さが大きく多層膜構造など実デバイスに近い構造での分析が可能であるものの、重要な半導体層中のバンド構造に仮定を伴ってしまうことは、正確な評価が行えているとは言い難い状況であった。近年、パワーデバイス用半導体として研究開発が盛んな SiC や GaN ではリーク電流への影響の大きいバンド構造を正確に評価することが求められており、実際にユーザーからもこのような評価技術への要望があった。このため、半導体デバイスにおいて正確なバンド構造を導き出すことを目的として、HAXPES と表面光起電力 (SPV) を組み合わせた電子状態評価技術の開発に取り組んできた。これは、対象の半導体のバンドギャップ (E_g) に相当する光を照射することによって生じるフラットバンド状態 (表面光起電力) を基準にしてバンド構造を評価するものである⁴⁻⁸⁾。

これにより通常は検出することが難しい深部のフラットバンド状態を表面・界面近傍で再現することができ、正確なバンド構造の評価に繋げることができる (図 1)。さらに検出深さの大きな HAXPES と組み

合わせることで、XPS では実現できなかった実際のデバイス構造や多層膜試料での評価が可能となる。その他、本技術はバンドギャップ励起に付随したデバイス・材料の電子状態を直接理解できることに繋がるため、バンドギャップ励起により特性を発現する材料、例えば、太陽電池や光触媒の励起時の電位分布やフォ

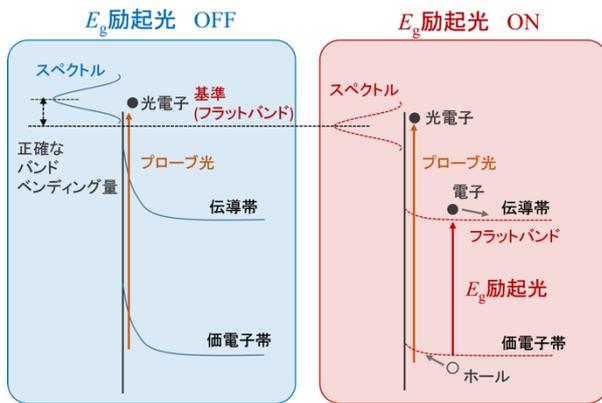


図1 表面光起電力 (SPV) 発生概念図

トクロミック材料の励起時における化学結合状態、近年研究開発の盛んな有機-無機ハイブリッド材料（ペロブスカイト太陽電池）への応用など、適用範囲が広範に亘ることも期待される。本稿では、本評価技術を用いた半導体デバイスのバンド構造評価の他、波長依存性を応用したバンドギャップ評価、酸化物半導体やペロブスカイト太陽電池材料における光照射下での電子状態、光劣化評価の応用事例について紹介する。

2. HAXPESによるバンドギャップ光励起下の電子状態評価技術

BL46XU 第二実験ハッチでは、HAXPES 装置を運用しており^{9,10}、高輝度光科学研究センター 理事長ファンド及び JSPS 科研費の助成を受け、バンドギャップ光励起用のキセノン光源（朝日分光社製 MAX-303 300W Xenon lamp）及び HAXPES 装置の測定槽へバンドギャップ光を照射するためのライトガイドと集光レンズを2019年に導入した。今回は様々な半導体材料への適用を考え、広い波長域（250~1200 nm 程度）を持つキセノン光源を選択した。また、2020年には、波長選択の自由度の向上とバンドギャップ光の励起波長依存性評価を行うための回折格子型の分光器を導入した。図2には本装置外観と測定槽内部の写真を示している。ライトガイド及び測定槽内へ導入した集光レンズによって試料の HAXPES 測定位置でΦ 4.5 mm となるように集光している。

3. 実験方法

本装置を用いた実験は、Scienta Omicron 社製 R4000L1-10kV アナライザーを有する硬 X 線光電子分光装置で実施した。励起 X 線エネルギーは 7.94 keV、測定位置におけるビームサイズは半値幅で、水平方向で 250 μm 程度、鉛直方向で 20 μm 程度である。入射角度は試料表面から 10°、出射角 15~80°にてパステネルギー 200 eV で測定を行い、各試料における HAXPES スペクトルを取得した。バンドギャップ光には先に述べたキセノン光源から発生させた光を用い、バンドパスフィルターや回折格子による分光もしくはフィルター無し（300~600 nm）の条件で照射を行った。

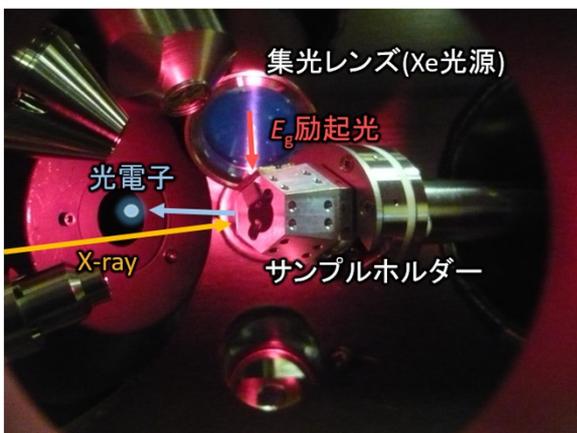
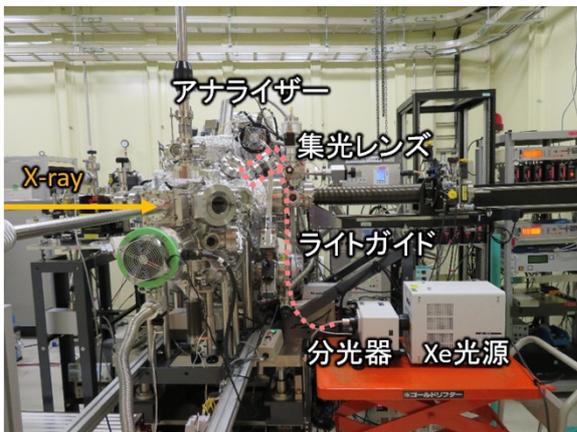


図2 SPring-8 BL46XU 第二実験ハッチに設置したバンドギャップ光励起HAXPES装置の外観及び測定槽内部の写真。

4. 実験結果

4.1、4.2、4.3 では励起光照射によるバンド構造評価の検討結果、4.4、4.5 では光照射による試料劣化の検討について報告する。

4.1 p 型 GaN の表面バンドベンディング評価

はじめに、モデルケースとして p 型 GaN におけるバンドギャップ光照射下の評価事例を紹介する。GaN は高耐圧、高周波、高温動作などの優れた特性のデバイスが実現可能なことから Si に代わる次世代半導体材料の一つとして注目されている材料である。一方で、p 型化については、低い活性化率を要因とした p 型 GaN 層の抵抗率やコンタクト抵抗が高いといった課題があり^[11,12]、同材料のバンド構造を正確に評価することは重要である。本評価には Si 基板上に p 型 GaN(200 nm)/AlGaN/undoped GaN/buffer layer を MOCVD により成膜したものをを用いた^[13,14]。p 型 GaN(Mg doped)層のキャリア密度は $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ である。バンドパスフィルターによって分光した 350 nm の UV 光をバンドギャップ励起光として照射した。

UV 光の照射有無における Ga 2p_{3/2} スペクトルの測定

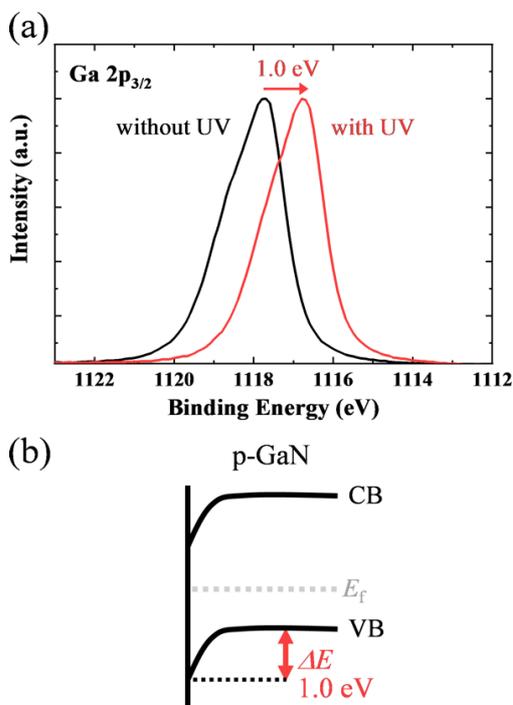


図3 (a) UV 光照射有無における p 型 GaN の Ga 2p_{3/2} スペクトル。(b) p 型 GaN のバンド構造の模式図。図中の VB は価電子帯 (Valence Band)、CB は伝導帯 (Conduction Band)、 E_f はフェルミ準位を表している。

結果を図 3(a)に示す。UV 光照射によって低結合エネルギー側へピークがシフトすることが確認できる。光電子分光におけるピークシフトは化学結合状態の変化やチャージアップの影響が一般的であるが、SPV 評価のためには、上記のような要因を注意深く切り分けなければならない。今回の実験では、他の元素のスペクトル (N 1s) や価電子帯端も同様にシフトしていること、またチャージアップが発生しない X 線強度域 (アッテネータ (厚さの異なる Al 箔) により X 線強度を変化させてピークシフト (チャージアップ) の有無を確認) で測定していることから、観測されたピークシフトは UV 光照射によってバンドベンディングが緩和した結果を表していると考えられる。また、別途測定した脱出角度依存評価で得られたバンドベンディングの傾向と矛盾の無いことも確認できている。以上の結果より、今回測定した p 型 GaN の表面は、図 3(b)に示すように下向き (高結合エネルギー側) のバンドベンディングが生じた空乏層が形成された状態であることがわかった。

4.2 SiO₂/Si 基板構造のバンド構造評価

次に多層構造 (酸化物/半導体基板) のバンド構造を評価した事例を紹介する。試料は熱酸化により膜厚 10 nm の SiO₂を形成した SiO₂(10 nm)/p 型 Si 基を評価対象とした。図 4(a)には、バンドギャップ光照射 (バンドパスフィルター無し) 前後における Si 1s スペクトルの結果を示す。光照射により低結合エネルギー側へのピークシフトが観測され、SiO₂/Si 基板界面で 0.2 eV 程度下向き (高結合エネルギー側) にバンドベンディングが生じていることがわかった。さらに SiO₂と p 型 Si 基板における Si 1s、価電子帯スペクトルの測定結果を併せてまとめたものを図 4(b)に示す。これより SiO₂/p 型 Si 基板の価電子帯オフセット (ΔE_v) を以下の式(1)から見積もったところ^[15]、 ΔE_v は 4.9 eV と見積もられた。また、文献値を参照した各層のバンドギャップ^[16,17]を勘案して得られた SiO₂/p 型 Si のバンド構造全体 (伝導体オフセット (ΔE_c) を含む) の結果を図 4(c)に示す。分析深さの大きな HAXPES と SPV を組み合わせることで、本試料のような多層構造のバンド構造が評価できることがわかる。

$$\Delta E_v = (E_{Si1s} - E_v)_{p-Si} - (E_{Si1s} - E_v)_{SiO_2} \dots (1) - (E_{Si1s(p-Si)} - E_{Si1s(Oxide)})_{SiO_2 / p-Si}$$

4.3 励起波長依存性によるバンドギャップ評価

これまでの事例で見られたように、半導体を持つバンドギャップエネルギー以上の光を照射することで、半導体内部のポテンシャルに変化が生じた結果が光電子スペクトルのピークシフトによって直接反映される。これを利用することで、材料のバンドギャップ

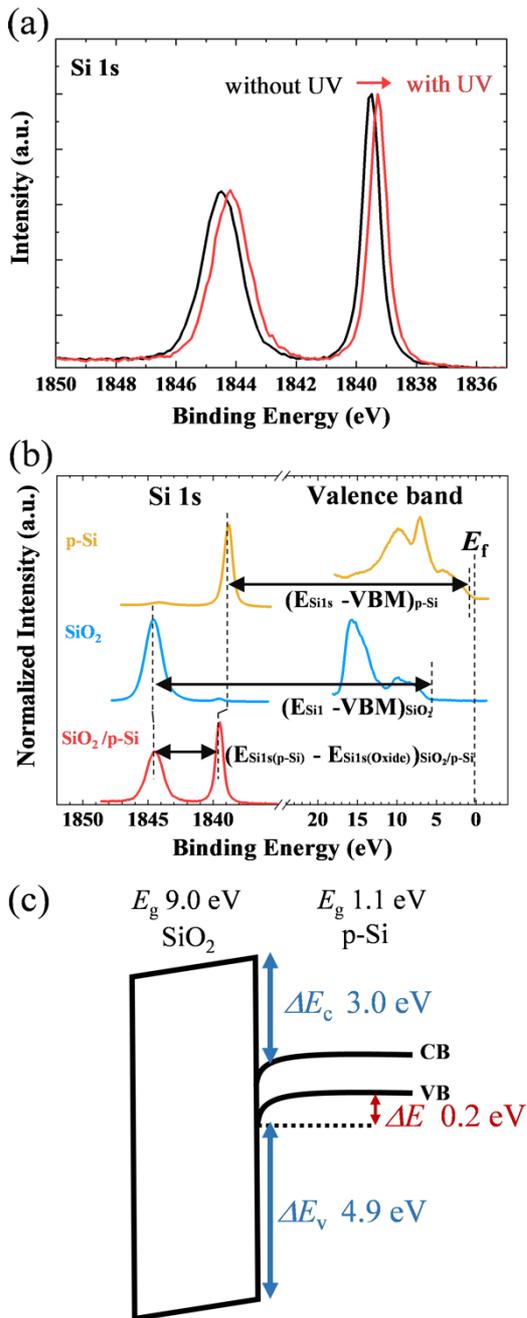


図4 (a) UV 光照射有無における SiO₂(10 nm)/p 型 Si 基板の Si 1s スペクトル。(b) SiO₂/p 型 Si 基板、p 型 Si 基板、SiO₂ の Si 1s スペクトル及び価電子帯スペクトル。図中の VBM は価電子帯端 (Valence Band Maximum) を表している。(c) SiO₂/p 型 Si 基板のバンド構造の模式図。

評価への応用が期待できる。ここでは測定対象に 4H-SiC 基板 (p 型、キャリア密度: $6.0 \times 10^{17}/\text{cm}^3$) を使用し、キセノン光源からの UV 光を回折格子型の分光器により波長域 330~430 nm 間を 5 nm 毎に分光させた波長依存性の評価結果を紹介する。

図 5(a)に各波長照射下における Si 1s スペクトルの結果を示す。励起波長に依存してピーク位置がシフトする傾向が認められる。各励起波長の結果に対して UV 光照射をしていない Si 1s を基準としたピーク位置の差分をプロットしたものを図 5(b)に示す。これより 390~380 nm (3.18~3.26 eV) 付近よりピークシフトが観測されることから、本試料のバンドギャップ値は文献値の 4H-SiC のバンドギャップ (3.26 eV)^[18]に近い 3.18~3.26 eV 程度と見積もられた。現状では光電子エネルギー変化の励起波長依存性からバンドギャップ値を正確に求めるための解析方法の確立など今後課題はあるが、本技術を用いたバンドギャップ評価の可能性を示すことができたと考えている。今回は一般的な半導体基板による評価を実施したが、薄膜構造や局所的な領域、さらに X 線を集光すれば微小領域でのバンドギャップ評価へ応用できることも期待される。

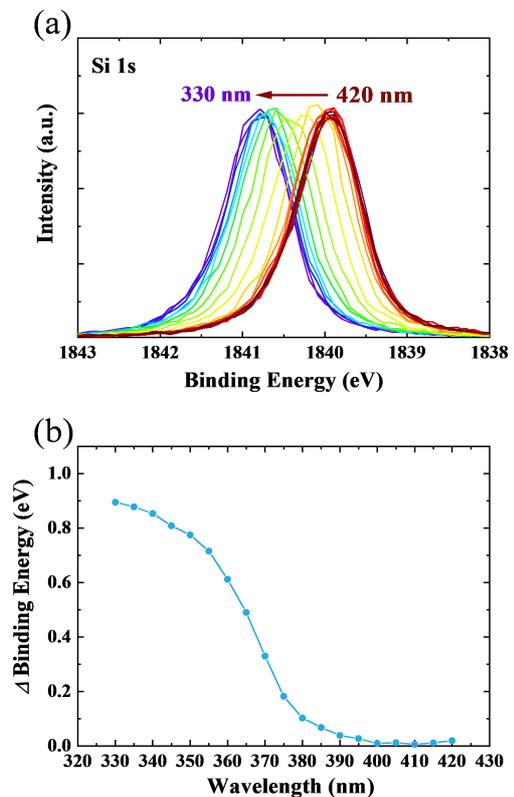


図5 4H-SiC 基板の UV 光波長依存性評価結果。(a) Si 1s スペクトル。(b) Si 1s ピークシフトの差分結果。

4.4 アモルファス酸化物半導体における光照射劣化の検討

InGaZnO₄をはじめとするアモルファス酸化物半導体は、低温での成膜・熱処理でも良好なデバイス特性を示すなど優れた特質が認められ、液晶、有機ELディスプレイのスイッチング素子などへの応用が進められている材料である^[19]。一方で、光照射によって起こる光劣化（10³秒以上の長い光応答特性）に見られるように、安定性、信頼性で改善していくべき課題もある^[20,21]。こうしたデバイス特性は、価電子帯端やサブギャップ準位による影響が大きいと考えられており、これまでに HAXPES による評価が有効であることが報告されている^[22,23]。ここでは UV 光照射によるアモルファス酸化物半導体の価電子帯近傍の電子状態への影響を評価した結果を紹介する。InGaZnO₄膜（200 nm）は InGaZnO₄（In:Ga:Zn = 1:1:1）ターゲットを DC スパッタにより Si 基板上に成膜し、大気雰囲気（350℃、1h）で熱処理を実施したものを測定に用いた。

図 6 に UV 光照射有無における InGaZnO₄ 薄膜の価電子帯スペクトルの結果を示す。UV 光照射によって 2~4 eV 近傍の価電子帯端近傍の準位密度が増加していることが認められる。また双方ともにフェルミ準位近傍にサブギャップ準位が確認されるが、これも同様に UV 光照射によって準位密度がわずかに増加することが認められた。UV 光照射によって、こうした価電子帯端近傍の裾部やサブギャップ準位密度が増加する傾向は電気特性の結果から同様の報告があり、酸素欠損が関連したメカニズムが提案されている^[24,25]。

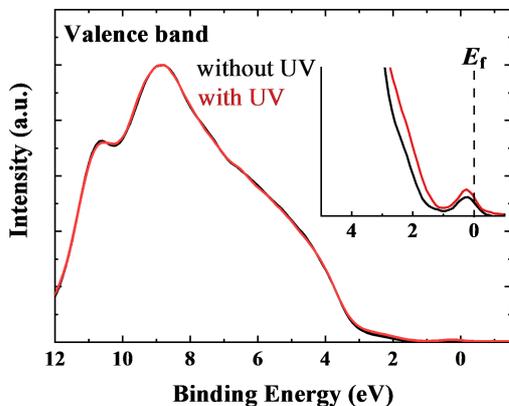


図 6 UV 光照射有無における InGaZnO₄ 薄膜の価電子帯スペクトル。図中の挿入図は価電子帯端近傍を拡大したものを示している。

4.5 ペロブスカイト太陽電池の光劣化評価

最後に、次世代の新規太陽電池材料として注目の大きいペロブスカイト太陽電池について UV 光照射によるダメージ評価を行った事例を紹介する。ヨウ化鉛メチルアンモニウム（CH₃NH₃PbI₃）に代表されるペロブスカイト太陽電池は、シリコン系太陽電池にも匹敵する高い変換効率を達成し、かつ塗布（スピコート）技術で容易に作製できるといった特徴がある。一方で、大気や湿度、光などに対する安定性の課題があり、特性向上を目指した研究開発が行われている^[26]。FTO 基板上に CH₃NH₃PbI₃ を塗布法により成膜したものを対象として、UV 光照射による光劣化評価を行った。実験は UV 光を 2 分間照射→HAXPES 測定を繰り返し、UV 光照射合計 10 分までの測定を実施した。

図 7 に Pb 4f 及び I 3d_{5/2} スペクトルの UV 光照射の時間依存性結果を示す。図 7(a) の Pb 4f スペクトルからは、UV 光照射時間の増加に伴って CH₃NH₃PbI₃ 由

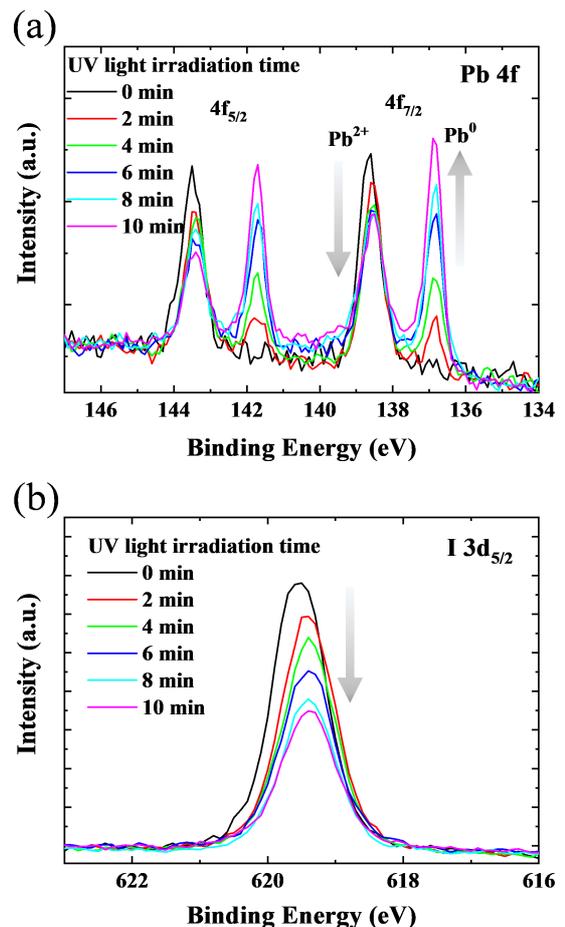


図 7 ペロブスカイト太陽電池薄膜試料の UV 光照射時間依存性結果。(a) Pb 4f スペクトル、(b) I 3d_{5/2} スペクトル。

来の Pb^{2+} 成分のピーク強度が減少し、新たに出現した Pb^0 と推測されるピーク強度が増加することが確認された。一方、図 7(b) の I3 $d_{5/2}$ スペクトルでは、UV 光照射時間の増加によってピーク強度が減少する傾向が認められた。光照射による $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ の分解で、揮発性の高い HI や金属 Pb が生成される可能性が報告されており¹²⁶⁾、これらと矛盾しない結果が得られていると考えられる。

5. まとめ

本稿では、HAXPES をベースとしたバンドギャップ光励起下の電子状態評価技術を用いた様々な半導体材料についての評価事例を紹介した。多層構造における半導体デバイスのバンド構造の評価や、波長依存性によるバンドギャップ評価、光が関与する劣化現象を観測することに成功した。本評価技術がバンド構造評価のみならず、光が関係する広範な材料、現象へ応用展開できるものと期待される。一方で、表面や界面に存在する欠陥密度によっては現在のキセノン光源では光量が不足する課題が一部の試料で確認されている。また、最表層に金属電極が存在するケースでは、バンドギャップ光を半導体層へ到達させるためには、表面（金属電極）側からではなく、試料の断面から照射するなどの工夫が必要になる。今後、材料や試料構造に最適な条件で評価が行えるよう光源や光の導入位置、集光などについて最適化の検討を進め、HAXPES のさらなる利用者と適用分野の拡大に繋がっていきたいと考えている。

謝辞

本研究は、(公財)高輝度光科学研究センター 理事長ファンド及び日本学術振興会 科学研究費助成事業若手研究(課題番号 20K15184)の支援を受けて実施した。本稿における HAXPES (BL46XU) を使用した実験は、SPRING-8 の利用研究課題(課題番号 2019A1754、2019B1701)により実施した成果である。本研究で測定に用いた p 型 GaN 試料は豊田工業大学 岩田直高教授、4H-SiC 試料は広島大学 黒木伸一郎教授、ペロブスカイト太陽電池薄膜試料は東京大学 柴山直之様に提供頂いた。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- [1] K. Kobayashi: *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res.* **601** (2009) 32-47.
- [2] N. Ikeno, Y. Yamashita, H. Oji, S. Miki, K. Arafune *et al.*: *Jpn. J. Appl. Phys.* **54** (2015) 08KD19.
- [3] D. Gerlach, R. G. Wilks, D. Wippler, M. Wimmer, M. Lozac'h *et al.*: *Appl. Phys. Lett.* **103** (2013) 023903.
- [4] J. E. Demuth, W. J. Thompson, N. J. DiNardo and R. Imbihl: *Phys. Rev. Lett.* **56** (1986) 1408-1411.
- [5] B. F. Spencer, D. M. Graham, S. J. O. Hardman, E. A. Seddon, M. J. Cliffe *et al.*: *Phys. Rev. B* **88** (2013) 195301.
- [6] J. P. Long and V. M. Bermudez: *Phys. Rev. B* **66** (2002) 121308(R).
- [7] H. Sezen and S. Suzer: *Surf. Sci.* **604** (2010) L59-L62.
- [8] H. Sezen, E. Ozbay and S. Suzer: *Appl. Surf. Sci.* **323** (2014) 25-30.
- [9] H. Oji, Y.-T. Cui, J.-Y. Son, T. Matsumoto, T. Koganezawa and S. Yasuno: *J. Surf. Anal.* **21** (2015) 121-129.
- [10] S. Yasuno, H. Oji, T. Koganezawa and T. Watanabe: *AIP Conf. Proceedings of SRI 2015* **1741** (2016) 030020.
- [11] G. Greco, F. Iucolano and F. Roccaforte: *Appl. Surf. Sci.* **383** (2016) 324-345.
- [12] J.-K. Ho, C.-S. Jong, C. C. Chiu, C.-N. Huang and K.-K. Shih: *J. Appl. Phys.* **86** (1999) 4491-4497.
- [13] T. Kondo, Y. Akazawa and N. Iwata: *Jpn. J. Appl. Phys.* **59** (2020) SAAD02.
- [14] N. Iwata and T. Kondo: *Jpn. J. Appl. Phys.* **60** (2021) SAAD01.
- [15] R. W. Grant, E. A. Kraut, S. P. Kowalczyk and J. R. Waldrop: *J. Vac. Sci. Technol. B* **1** (1983) 320-327.
- [16] S. Miyazaki: *J. Vac. Sci. Technol. B* **19** (2001) 2212-2216.
- [17] S. M. Sze and K. K. Ng: *Physics of Semiconductor Devices, 3rd ed.* (Wiley, New York, 1981) 790.
- [18] T. Kimoto and J. A. Cooper: *Fundamentals of Silicon Carbide Technology: growth, characterization, devices and applications* (John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd, 2014).
- [19] K. Nomura, H. Ohta, A. Takagi, T. Kamiya, M. Hirano and H. Hosono: *Nature* **432** (2004) 488-492.
- [20] T. Aoi, N. Oka, Y. Sato, R. Hayashi, H. Kumomi and Y. Shigesato: *Thin Solid Films* **518** (2010) 3004-3007.
- [21] D. P. Gosain and T. Tanaka: *Jpn. J. Appl. Phys.* **48** (2009) 03B018.
- [22] K. Nomura, T. Kamiya, H. Yanagi, E. Ikenaga, K. Yang, K. Kobayashi, M. Hirano and H. Hosono: *Appl. Phys. Lett.* **92** (2008) 202117.

- [23] K. Nomura, T. Kamiya, E. Ikenaga, H. Yanagi, K. Kobayashi and H. Hosono: *J. Appl. Phys.* **109** (2011) 073726.
- [24] J. H. Kim, U. K. Kim, Y. J. Chung and C. S. Hwang: *Appl. Phys. Lett.* **98** (2011) 232102.
- [25] P. Migliorato, M. D. H. Chowdhury, J. G. Um, M. Seok and J. Jang: *Appl. Phys. Lett.* **101** (2012) 123502.
- [26] X. Liu, Q. Han, Y. Liu, C. Xie, C. Yang *et al.*: *Appl. Phys. Lett.* **116** (2020) 253303.

安野 聡 *YASUNO Satoshi*

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

低真空～ヘリウム置換大気圧環境下での観察が可能な 走査型軟 X 線分光顕微鏡の開発 (軟 X 線ビームライン BL17SU)

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 大浦 正樹、石原 知子

Abstract

サブミクロンスケールに集光した軟 X 線ビームを用いる走査型軟 X 線分光顕微鏡を開発し理研ビームライン BL17SU に設置した。集光素子としてフレネルゾーンプレートを使用し、エネルギー範囲として 400～756 eV (一次回折) をカバーし、300～500 nm 程度のビーム径で各種試料の表面/界面の観察に利用している。低真空からヘリウム置換大気圧環境下での試料表面近傍の顕微分光観察を可能とするもので、2018 年後半より理研ユーザーによる応用研究を進めてきた。装置の概要、可能な計測手法と幾つかの観察事例、そしてソフトウェアアプリケーションについて紹介する。

1. はじめに

軟 X 線アンジュレータビームライン BL17SU (理研・物理科学 III) は理化学研究所の専用ビームラインとして建設された^[1]。可変偏向アンジュレータ^[2]を擁し、2003 年 9 月に初めてアンジュレータ光をビームラインに導入して以来、光学系やエンドステーションの調整運転^[3]を経た後、2005 年 9 月末より軟 X 線分光ビームラインとして理研ユーザーによる先端物質科学研究推進のため各種分光実験に利用されてきた。同年 10 月末からは、持ち込み実験ステーションにおいて、主に分光型光電子・低エネルギー電子顕微鏡 (SPELEEM)^[4]を対象とした共同利用実験課題に全運転時間の 20% のビームタイム枠を供出している。以来、軟 X 線分光ビームラインとして一定の成果を挙げ

てきたわけだが、2016 年度末に 2 台目の光電子顕微鏡 (Versatile PEEM)^[5] (2018A 期より供用開始) を導入したのを機に、近年では軟 X 線顕微分光を主な柱としたビームラインとして変貌を遂げつつある。2018 年の年明けからは、本稿にて取り上げる走査型軟 X 線顕微鏡の立ち上げが始まり、2018B 期から所内スタッフによる利用研究が開始されている。本稿では、低真空～ヘリウム置換大気圧の環境下で観察が可能となるように開発された走査型軟 X 線分光顕微鏡^[6]について紹介する。

2. 走査型軟 X 線分光顕微鏡の開発

X 線顕微鏡^[7]には、大別すると、結像型と走査型の 2 通りがある。結像型では光学系により拡大投影された試料の結像イメージを CCD やピクセルアレー型の検出器などで撮像するのに対し、走査型では数 10 ナノメートル～サブミクロンスケールのサイズに集光した X 線プローブを試料上で走査しながら吸光度を反映する情報を 2 次的に可視化する。後者の走査型 X 線顕微鏡において、走査型電子顕微鏡 (Scanning Electron Microscope, SEM) と大きく違うのは、プローブを走査するのではなく、試料を高精度のステージに搭載して、プローブに対して試料を走査する点である。プローブ、試料、検出器の配置によって、極薄の試料を観察する透過型配置、厚い試料を観察する反射型配置など、試料の形態に応じて試料周辺を工夫することが可

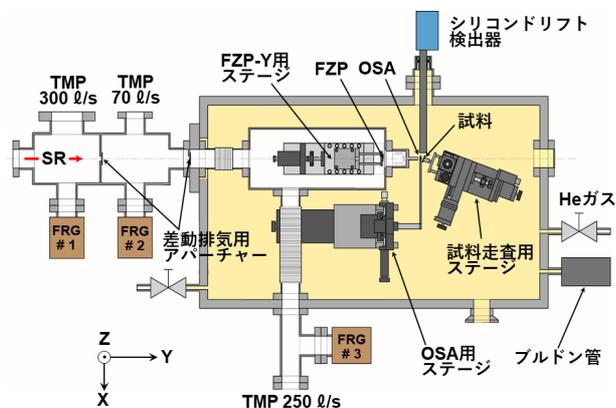


図 1 走査型軟 X 線分光顕微鏡の模式図。OSA: 次数選択アパーチャー、TMP: ターボ分子ポンプ、FRG: フルレンジゲージ。

能である。本稿で紹介する走査型軟X線分光顕微鏡は、フレネルゾーンプレート (Fresnel Zone Plate, FZP) を用いた光学系によりサブミクロンスケールに軟X線ビームを集光し、試料上の局所領域に対して分光観察を行うことを目的として開発されたものである⁹⁾。

2.1 装置概要

図1に装置の模式図を示す。装置は二重の容器からなる構造になっていて、顕微鏡本体を納める大きな角チェンバーの中にFZP用の小さな角チェンバーがある。

小型角チェンバーは高真空環境に保たれている。この小型角チェンバーの末端には、真空封止と集光軟X線ビーム取り出し用の窓を兼ねた SiN もしくは SiC メンブレン窓 (2 mm × 2 mm × 0.2 μm) があり、図中の薄黄色に塗られた部分を低真空〜ヘリウム置換大気圧の環境にすることができる。低真空の場合、試料環境は概ね 10 Pa 程度となっている。

試料走査用ステージには分解能 10 nm、繰り返し位置決め精度±20 nm、最大走査スピード 10 mm/s のフィードバックステージを使用している。試料走査用ステージの試料取付部は色々と工夫できるようになっている。通常は 20 mm(H) × 10 mm(W) までの固体試料の取り付けが可能で、これ以下のサイズの試料であれば一度に複数個の試料をマウントすることが可能である。その他、試料取付部を付け替えることに

表1 BL17SU の走査型軟X線分光顕微鏡の仕様

FZP	Au/SiN membrane (100nm)
ゾーン厚さ	190 nm (±15%)
直径	910 μm
最外輪帯幅	153 nm
CBS ¹⁾ 直径	24 μm
OSA 直径	25 μm
焦点距離	44.9~84.9 mm
エネルギー範囲	
一次回折	400~756 eV
三次回折	1200~2000 eV
ビームサイズ	223~259 nm (設計値) ($\sigma^2 = 20 \mu\text{m}$, E/dE~10000)
効率	
一次回折	~10.1% ⇒ 4×10^8 ph/s
三次回折	~1.1%

¹⁾CBS: センタービームストップ

²⁾光源サイズ (出射スリットの開口サイズ)

よって、電気化学反応観察用の液体セル (封入系や循環系) や磁性材料観察用の小型電磁石などをマウントする実験も順次開始されている¹⁰⁾。

走査型軟X線分光顕微鏡の光学系仕様 (設計値) を表1に示す。ここに示しているのは最初期の仕様で、本稿が出る頃には直径 120 μm (2 μm) の CBS が積まれた FZP、直径 100 μm の OSA に置き換わっている予定である。これにより OSA と試料間の距離がほぼ4倍となり試料周辺の自由度が増すため、より多彩な測定が可能になるものと期待している。現在のところ、エネルギーとしては酸素の K 吸収端や鉄の L_{2,3} 吸収端近傍の利用が多く、ビームサイズとしては 300~500 nm 程度の軟X線ビームが主に使われている。これらの領域において、例えば 600 eV の場合、光子束として 1.5×10^9 ph/s 程度のサブミクロンビームが利用可能である。

2.2 計測手法

本装置は、集光した軟X線をプローブとし、試料から放出される蛍光 X 線をシリコンドリフト検出器で計数する蛍光 X 線分析 (microprobe X-Ray Fluorescence analysis, μ XRF) 法により、試料表面を観察するのに主に利用されている。これにより、局所領域の蛍光 X 線分析のみならず、特定の蛍光 X 線を計数しながら試料表面を走査して元素分布を可視化する、軟X線のエネルギーを掃引しながら特定の蛍光 X 線を計数して局所領域の吸収スペクトルを取得する、などの計測が可能である。もし吸収スペクトルに特異な構造が見られるような場合、その構造を選択的に励起するエネルギーに放射光のエネルギーを合わせてマッピングを行えば、特異な構造に関与する化学状態分布の可視化が可能となる。元素分布可視化の場合、一度に数種類 (最大 8) の元素のマッピングが可能である。観察例として、シリコン基板上に形成したパーマロイ (Ni₈₁Fe₁₉) のマイクロドットパターンの顕微分光観察の結果を図2に示す。

図2(a)は励起エネルギー760 eV の集光軟X線ビームにより励起される蛍光 X 線スペクトルのうち鉄 L α 線を選択し、鉄 L α 線を計数しながら試料を走査して元素分布を可視化したものである。赤い部分がパーマロイ、青い部分がシリコン基板を表している。測定領

域は $70 \mu\text{m}(\text{H}) \times 40 \mu\text{m}(\text{V})$ の範囲を $1 \mu\text{m}$ ステップで計測している。測定時間は概ね 80 分であった。図 2(b) は同じく鉄の $L\alpha$ 線を計数しながら励起光のエネルギーを掃引し、部分蛍光収量法により取得した

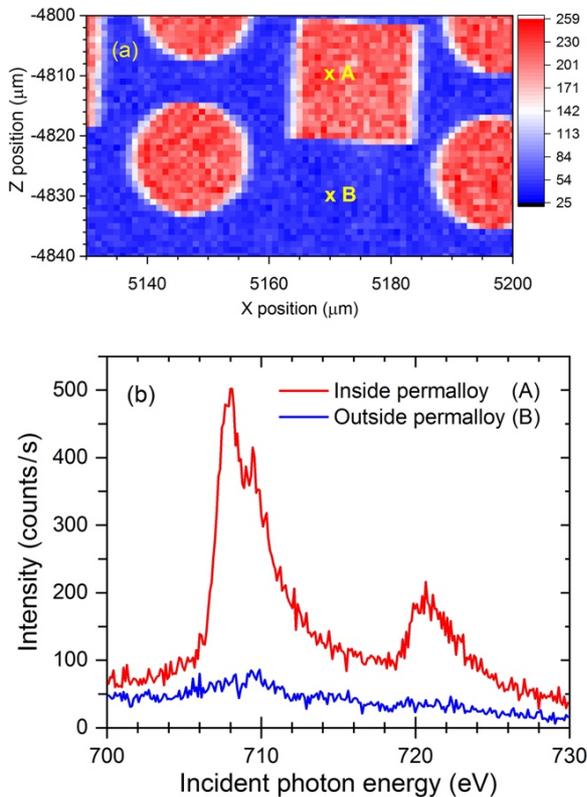


図 2 (a) Permalloy/Si パターン試料からの鉄の $L\alpha$ 蛍光 X 線を計数しながら試料走査した元素分布マッピング。(b) 鉄の $L\alpha$ 蛍光 X 線を選択した部分蛍光収量法により計測した局所領域吸収スペクトル。文献[6]より転載。

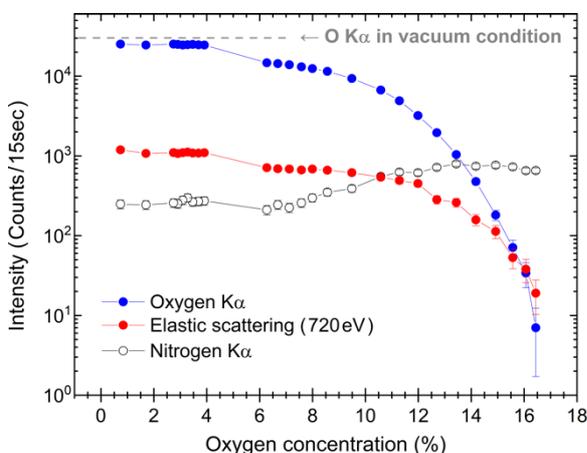


図 3 試料周辺環境を空気からヘリウムに置換する過程で取得した散乱 X 線および蛍光 X 線強度の酸素濃度依存性。文献[10]より転載。

局所領域の吸収スペクトルである。図 2(a) 中に表示された A、B の各点でそれぞれ取得したもので、2 本取るのに約 24 分を要している。

2.3 ヘリウム置換測定

次に、試料周辺の環境を空気からヘリウムに置換する過程を散乱 X 線および蛍光 X 線で観察した例を図 3 に示す。光路上の気体分子からの散乱 X 線や蛍光 X 線、ガラス試料からの蛍光 X 線の強度を大角チェンバー内の酸素濃度の関数として観察したものである。酸素高濃度の場合、つまり置換が進んでいない場合、光路上にある空気中の窒素からの蛍光 X 線が強く観察される。ヘリウム置換が進むにつれてガラス試料からの酸素 $K\alpha$ 蛍光 X 線が強くなり、最終的に真空環境で測った計数値に迫る様子が見られる。この測定は励起エネルギー 720 eV で行い、小型角チェンバー末端の SiN メンブレン窓からガラス試料までの距離は 3.1 mm 、試料からシリコンドリフト検出器までの距離は約 25 mm であった。

2.4 埋もれたパターン試料の観察

本稿にて紹介する μXRF 法による元素分布マッピングは、光電子顕微鏡のような Photon-IN/Electron-OUT によるそれとは違って Photon-IN/Photon-OUT であるため、ある程度の深さまで検出することが可能である。計算上では、表面から数百ナノメートル程度の深さまで検出することが可能である。

図 4 はシリコン基板上にガラスとパーマロイで形成したマイクロパターンを観察したもので、約 30 nm の金のキャップ層がある場合とない場合を比較したものである⁹⁾。パターンのサイズは 1 辺の長さが $500 \mu\text{m}$ の正方形である。図に示す通り、かなり強度は落ちるものの、 30 nm の Au キャップ層に埋もれたパーマロイパターンの元素分布観察や局所吸収スペクトルの測定が可能であることが分かる。この計測例では、ピクセルサイズを $1.5 \mu\text{m}$ とし、1 ピクセルあたり 1 秒の積算時間で計測している。

2.5 珪藻試料観察

最後に、自然界が創り出す極微の世界に生きる珪藻のうち、中心珪藻であるクモノス珪藻の被殻の顕微分

光観察例を示す¹⁰⁾。10万種類以上存在するとも言われる珪藻の一種で、直径が300 μm程度の比較的大きな海産性の付着型珪藻である。その被殻はナノスケール程度の微細な構造を持つ多孔質性のシリカで形成される。今回我々は軟X線分光顕微鏡を3次回折モードで運転し、シリカ中のシリコンを標的として、シリコン K α 蛍光 X 線計数によりクモノス珪藻の被殻表面を観察した。

図5に観察例を示す。図5(a)は試料の中心部付近の異なる2地点で計測した局所領域吸収スペクトル、図5(b)は図5(a)と同様の2地点で計測した蛍光 X 線スペクトルをそれぞれ示している。図5(c)はピクセルサイズ 0.5 μm で取得したシリコンの元素分布で、左下部がクモノス珪藻の中心部分に近いところである。そこから放射状に延びる赤いラインが costa (肋) と呼ばれる骨格となる構造で、2 μm 程度の大きさの胞紋 (図中の青い楕円状の構造) の中に更に微細な構造を持っている。今回の分解能と計測系の配置からはそれらの微細構造の観察はできない。

近い将来、マイクロ流路を利用した閉じ込め系により、生きた珪藻を閉じ込め系窓材のメンブレンに付着させ、糖類が主成分の粘液で付着している部位 (珪藻とメンブレンの界面) の顕微分光観察を行ってみたい。

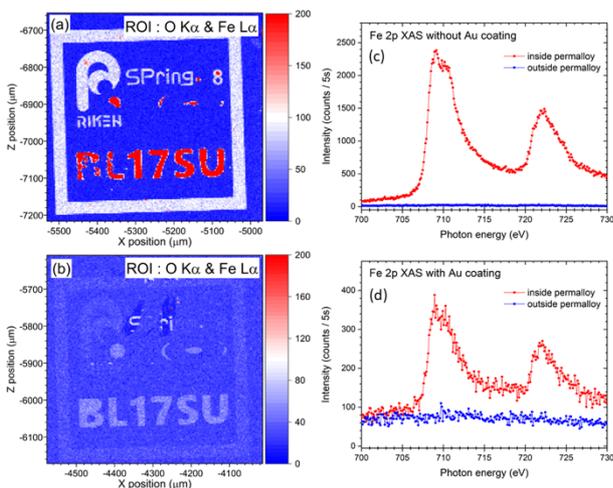


図4 (a) Permalloy/SiO₂/Si パターン試料からの酸素 K α 蛍光 X 線と鉄 L α 蛍光 X 線を計数しながら試料走査して得た元素分布マッピング。(b) (a)と同様のパターン試料の表面全域を Au キャップ層 (厚さ約 30 nm) で覆った際の酸素と鉄の元素分布マッピング。(c),(d) それぞれの試料において、パーマロイパターンの内外で取得した鉄の L₂₃ 吸収端の局所吸収スペクトルの観察例。

3. ソフトウェアアプリケーションについて

本稿にて紹介した走査型軟 X 線分光顕微鏡は、その調整から計測までを LabVIEW をベースとしたソフトウェアアプリケーション (以下、アプリと略す) 群にて実行している。装置の調整にはフォトダイオードとナイフエッジを使用し、調整は概ね次のような手順で行っている。

- ① 励起エネルギーに対応する位置に予め FZP-Y 軸を合わせる (焦点距離を合わせることに相当)
- ② 装置架台の微調整 (SPRT-X 軸、SPRT-Z 軸の各軸スキャン)
- ③ OSA 位置の調整 (OSA-X 軸、OSA-Z 軸の 2 次元スキャン、各軸の 1 次元精密スキャン)
- ④ 集光条件の最適化 (FZP-Y 軸の微調整、ナイフエッジスキャンによるビームサイズ確認)

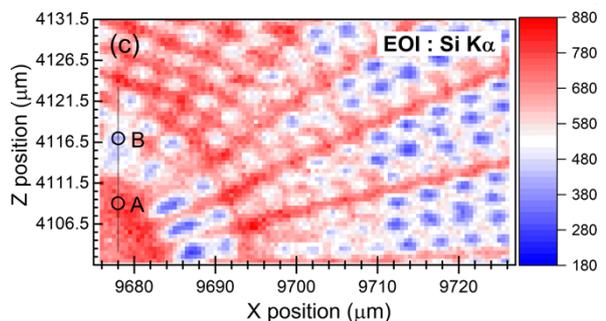
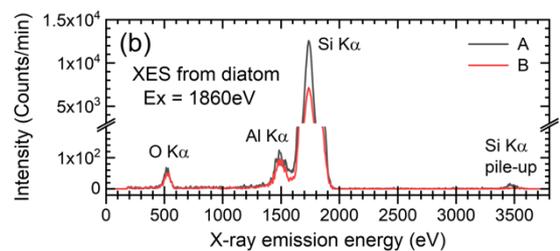
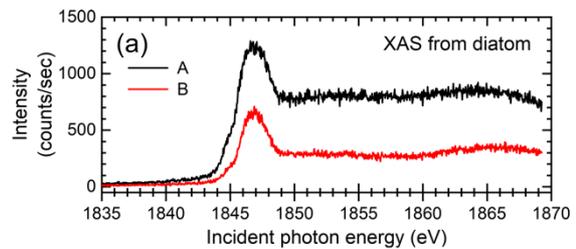


図5 (a) クモノス珪藻被殻の局所領域において部分蛍光収量法により取得したシリコン K 吸収端での吸収スペクトル。A と B は(c)の A 点と B 点で取得したことを示す。(b) 同様に A 点と B 点で取得した蛍光 X 線スペクトル。(c) ピクセルサイズ 0.5 μm で可視化したシリコン元素分布。1 ピクセルあたりの積算時間は 1 秒。文献[10]より転載。

表2 Command-line User Interface アプリで統合可能なコマンド群 (モジュール化ができれば容易に追加が可能)

動作	動かす物	動かす軸	パラメータ
move	1dim	BL	ID / grating / s2a
		PM16C	SPRT-X / SPRT-Z / OSA-Y / OSA-Z
		FDBCK	FZP-Y
		FDBCK	OSA-X / SMP-X / SMP-Z
scan R-scan Q-scan	1dim	PM16C	SPRT-X / SPRT-Z
		FDBCK	OSA-X
		PM16C	OSA-Z
		FDBCK	SMP-X / SMP-Z
	2dim	PM16C	SPRT-X & SPRT-Z
		FDBCK & PM16C	OSA-X & OSA-Z
		FDBCK	SMP-X & SMP-Z
corr R-corr	2dim	FDBCK	FZP-Y & SMP-X / SMP-Z
xafs		BL	grating
open		BL	DSSa
close		BL	DSSa
magnet		ElectroMagnet	Current

これらはそれぞれ個別のアプリにより調整を行うこともできるが、それぞれのアプリをモジュール化し、Command-line User Interface (CUI) アプリにより各アプリを統合することで、①～④を連続的に且つ自動で行えるように設計されている。このモジュラー・アーキテクチャーによる拡張性は、試料観察用のアプリにも適用され、観察場所を変えながら蛍光 X 線スペクトルや局所領域吸収スペクトルを計測したり、磁性材料のダイナミックな観察の場合などでは電磁石の条件を変えつつ励起光の偏光を切り換えて磁気円二色性を観察するなど、長時間に及ぶ測定を無人で自動的に実行することが可能である。例として、表 2 に CUI で統合するコマンド群を示す。move や scan は目的値までの移動や指定した範囲を走査するためのコマンドである。動かしたい物、動かしたい軸の名称と同じ行に数値を入れてやれば良い。光学系の調整から試料の観察まで、必要なコマンド群を組み合わせて、csv (Comma Separated Values) 形式のファイルで保存し、アプリの起動時に読み込んでやれば調整から観察までの連続実行が可能となる。

また、試料走査のアプリにおいては、ステップ毎に

停止して一定時間計数を溜め込むステップスキャン方式 (scan) と、連続的に移動しながらデータ取りを行うクイックスキャン (オンザフライ計測とも言う) (Q-scan) を選択できるようになっている。これは特に、耐放射線性に乏しいポリマー系や生体系の試料の観察には不可欠な要素である。これを実現するには、十分な計数率と高速な計測系が必要である。そのような観察が可能となるよう、計測系およびアプリの更なる高度化を継続して進めている。

4. まとめ

サブミクロンサイズに集光した軟 X 線ビームを用いる走査型軟 X 線分光顕微鏡について、装置の概要、可能な計測手法と幾つかの観察事例、そしてソフトウェアアプリケーションについて紹介した。空間分解能は決して良いとは言えないが、試料環境の自由度は高く、様々な観察への応用が可能なのが大きな特徴である。今後はウェットな試料や試料表面での化学反応中その場観察、動作中のデバイスの観察などにも応用してみたいと考えている。また、FZP を変えることで、異なるエネルギー領域や空間分解能の向上も視野に入れていきたい。

謝辞

本装置の開発に当たって、理化学研究所放射光科学研究センターの石川哲也センター長には多大なご支援とご理解をいただいた。ここに御礼申し上げたい。

装置の開発当初には、高輝度光科学研究センターの大沢仁志研究員に大変お世話になった。本装置の応用事例において、パターン試料の観察では兵庫県立大学高度産業科学技術研究所の山口明啓准教授、珪藻の観察では山口明啓准教授、高輝度光科学研究センターの大河内拓雄主幹研究員、小谷佳範主幹研究員らに共同研究者として大変お世話になった。また、現在推進中の樹脂材料接着界面の化学状態分析で理化学研究所放射光科学研究センターの初井宇記チームリーダー、山根宏之研究員との共同研究を推進している。これらの共同研究者皆様のご支援・ご助言は本装置およびソフトウェアアプリケーション開発の大きな原動力となった。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- [1] 辛 埴、他：SPring-8 利用者情報 **11** (2006) 11-16.
- [2] K. Shirasawa *et al.*: *AIP Conf. Proc.* **705** (2004) 203-206.
- [3] 大橋治彦、他：SPring-8 利用者情報 **9** (2004) 94-101.
- [4] F. Z. Guo *et al.*: *Rev. Sci. Instrum.* **78** (2007) 066107.
- [5] T. Ohkochi *et al.*: *Jpn. J. Appl. Phys.* **58** (2019) 118001.
- [6] M. Oura *et al.*: *J. Synchrotron Rad.* **27** (2020) 664-674.
- [7] C. Jacobsen: *X-ray Microscopy* (Cambridge University Press, 2019).
- [8] A. Yamaguchi *et al.*: in progress.
- [9] M. Oura *et al.*: *Jpn. J. Appl. Phys.* **59** (2020) 060902.
- [10] T. Ishihara *et al.*: *PLOS ONE* **15** (2020) 0243874.

大浦 正樹 OURA Masaki

(国) 理化学研究所 放射光科学研究センター
〒679-5148 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-0802 ext 3812
e-mail : oura@spring8.or.jp

石原 知子 ISHIHARA Tomoko

(国) 理化学研究所 放射光科学研究センター
〒679-5148 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-0802 ext 9650
e-mail : tomoko.ishihara@riken.jp

LEEM PEEM 11.5 (オンラインイベント) 参加報告

公益財団法人高輝度光科学研究センター

放射光利用研究基盤センター 分光・イメージング推進室

大河内 拓雄

1. はじめに

International Workshop on LEEM PEEM は、1998 年に米国アリゾナで開催されて以来、隔年で開催されている国際ワークショップで、低エネルギー電子顕微鏡 (LEEM) や光電子顕微鏡 (PEEM) を用いた表面・界面物性研究や装置の技術開発に関する情報交換や討議を行う場となっている。近年では 200 名規模の参加者となっており、日本からの参加はやや減少傾向にあるものの、LEEM、PEEM 分野の研究者・技術者にとって最新の動向をアップデートする重要な機会である。SPring-8 には軟 X 線ビームライン BL17SU に分光型 LEEM/PEEM と汎用型 PEEM の 2 台があり、円/線二色性を利用した磁気イメージングをはじめ、半導体・セラミック・有機物質・地球外物質など、ナノ領域の表面・界面物性研究に幅広く利用されている。利用研究分野の広さゆえにユーザーグループから

の技術的要望は様々であるため、国際的な技術情報が役立つケースは多い。筆者が最近参加したのは 2016 年に米国カリフォルニア州で開催された LEEM PEEM 10 で、分野人同士のアットホームな雰囲気をもちながら、装置開発・研究ともに飽きさせることのない最新の内容が盛りだくさんの充実した会議であった。私自身も、時間分解放射光 PEEM を用いて、フェリ磁性薄膜において巨大なスピン波が発見された成果の発表を行い、また、当時、BL17SU に新規に導入の準備を進めていた汎用型 PEEM 装置の仕様の打ち合わせとして納入メーカー (FOCUS 社) と議論した思い出がある。そのため、本年度の 9 月 27 日から 10 月 1 日にスペインのコルドバにて開催が予定されていた LEEM PEEM 12 を、SPring-8 での成果を準備しつつ心待ちにしていたが、COVID19 の拡大に伴い、1 年間の延期が 6 月頃に通知された。本年度のレギュラーの会議は中止となったが、waiting period の臨時企画として、表題にあるように“LEEM PEEM 11.5”と称して、内容を縮小したオンラインイベントが開催されることとなった^[1]。実施日程は本来予定されていたのと同様 9 月 28 日から 10 月 1 日の 4 日間で、最初の 3 日間は 1 時間程度のチュートリアル講演が 1 件ずつ、最後の 1 日はポスター発表という構成であった (図 1)。いずれの日もスペイン時間 15:00~16:00 (日本時間 22:00~23:00) の短時間のセッションであり、短文になるが、以下に概要を紹介する。



Due to the recent events and the international mobility regulations on the 2020, the LEEM PEEM 12 committee have decided to postpone the Congress, and so guarantee, as is tradition, the participation of people from all around the globe. The new date is september 22 2021.
However, we will keep on the original dates, from September 28 to October 01 2020, 4 days of online dynamics with tutorials and 5 minute video presentations of posters by young researchers. A maximum of 20 slots will be reserved for the poster presentations. The slots are reserved for PhD students and researchers that have obtained their PhDs no longer than 3 years ago.
Find the information in the "Online Event" tab, we will keep publishing information soon. Abstracts submission deadline is July 15. Registration is open and FREE.
We wish you well and hope to see you soon!

ONLINE PROGRAMME //

- ✦ MONDAY, September 28 | 15:00 - 16:00 (GMT+2) Tutorial 1 +
- ✦ TUESDAY, September 29 | 15:00 - 16:00 (GMT+2) Tutorial 2 +
- ✦ WEDNESDAY, September 30 | 15:00 - 16:00 (GMT+2) Tutorial 3 +
- ✦ THURSDAY, October 01 | 15:00 - 16:00 (GMT+2) Posters Session +

図 1 LEEM PEEM workshop ホームページ上の、LEEM PEEM 11.5 オンラインイベントの案内^[1]

2. 講演の概要

初日 (9 月 28 日) のチュートリアル講演は、T. de Jong (Leiden University) 氏と P. Dreher (University of Duisburg-Essen) 氏による講演“Data analysis in LEEM and PEEM”であったが、この日は飛び込みの装置対応に追われたため、残念ながら拝聴できなかった

た。概要を読んだところ、得られた画像の処理方法(バックグラウンドやドリフトの補正)や、スキルミオンなど複雑なベクトル構造を持った磁化に関するビッグデータ解析手法などに関する内容で、興味深かっただけに残念である。この講演の内容には含まれていなかったが、近年の物性分野では機械学習による解析や物性探索が一つの大きな潮流となっており、ピクセル単位で分光学的情報が大量に得られる LEEM や PEEM でも今後、インフォマティクスに関連した研究や開発に関する報告が増えてくるものと予想される。

2 日目 (9 月 29 日) の講演はイタリアの放射光施設 Elettra の O. T. Montes 氏による講演“Synchrotron-Based Cathode Lens Microscopy”で、放射光や X 線分光、光と電子・スピンの相互作用や X 線顕微鏡について、その歴史も交えて分野外の研究者にも分かりやすい丁寧な解説がされた。後半は、Fe-Ni 合金薄膜における相分離状態の、LEEM と PEEM と放射光を組み合わせた先端的なナノ材料解析の例が紹介され、終盤は、新規の装置開発として、分光型 LEEM 装置に反射光の回折パターンを結像するポートを増設し、電子像 (LEEM/PEEM 像) とコヒーレント回折像 (CDI 像) を同時に取得できるシステムの紹介があった。テスト測定段階であるが、LEEM/PEEM のハイスループット性と、電子結像における弱点 (ex. レンズによる分解能の限界、磁場中の観察が不可) を補完する CDI は共存の効果が高い上、即時に得られる PEEM 像を位相回復計算の初期条件に組み込んで CDI 像にハイスループット性を付与するといった技術も考えられるため、「デモとしてのシングルナノ分解能」を「実材料研究に使えるシングルナノ分解能」に昇華させる潜在能力を秘めているように思われた。

3 日目 (9 月 30 日) の講演は、米国 UC Dais の G. Cheng 氏による“Spin-Polarized LEEM”で、スピン偏極電子を用いた低エネルギー電子顕微鏡 (SPLEEM) についてのチュートリアル講演であった。SPLEEM は高コントラストの磁区構造を観察することのできる結像型顕微鏡で、X 線磁気円二色性を利用した PEEM (XMCD-PEEM) の特徴である元素選択性はないものの、シングルナノの分解能と高フラックス電子線による高速リアルタイム観察などが XMCD-PEEM より

も優れた点である。講演ではそれに加え、スピン偏極電子のスピン方向を 3 次元的に制御して 3 次元の磁化マッピングが得意である点にも言及し、スキルミオンなど立体的なテクスチャを有するメゾスコピック磁性薄膜の観察、解析を数多くの実例で紹介された。

4 日目 (10 月 1 日) は 5 セッション (計 25 件) のポスターセッションで、筆者は“MAG (磁性)”の 7 件のプレゼンテーションを拝聴した。発表者は学生が多かったが、各国からの研究成果が集まっていた。興味深かった発表をいくつか紹介する。ポーランドの放射光施設 SOLARIS の A. Mandziak 氏は、Ru(0001)基板上のマグネタイトのナノ構造薄膜の磁化過程の観察について紹介したが、独自に開発した、外場印加が可能な PEEM 用試料ホルダなどは参考になった。パルスならば 55 mT、観察中には 15 mT の印加が可能とのことである。中国の重慶大学の L. Yu 氏の発表では、収差補正機能を有した LEEM 装置を用いたスピン偏極 LEEM 観測により、W(110)上の Fe メゾスコピック構造体のカイラル磁区を 3 nm 程度の空間分解能で解析することに成功している²⁾。The University of Nottingham の S. Reimers 氏は、イギリスの放射光施設 Diamond にて、反強磁性薄膜 CuMnAs の表面構造と反強磁性磁区を、X 線磁気線二色性による PEEM (XMLD-PEEM) と明視野/暗視野 LEEM を用いて鮮明に観測した結果を報告した。物質・材料研究機構 (NIMS) の鈴木雅彦氏からは、SPLEEM を用いて、多結晶の NiO/Fe 薄膜における磁区構造の膜厚依存性を系統的に解析した成果の報告があった。NiO は単結晶による研究が多くされているが、実用デバイスとして多結晶状態での物性を知ることは重要である。このセッションは後半に“2D”とのジョイントセッションとなり、加えて 5 件の発表を聞くこともできた。Jülich 研究所の K. Hagiwara 氏は、当研究所で運用されている、世界をリードする momentum microscopy 装置を利用して、ワイル半金属 MoTe₂ のバンド構造とフェルミ面を明瞭に捉えた結果を報告した。これらのショートプレゼンテーションの最中にチャット上で質疑応答を募っており、全てのプレゼンテーションが終了した後に、発表者が順番に口頭で回答をする形式であった。

当初は、セッション間の移動も自由な閲覧形式を想

定していたそうだが、各数分のショートプレゼンテーションと質疑応答だけでほぼ1時間が経過し、結果的には短い口頭発表、という形式となった。また、途中でセッションの並行数によるエラーが生じて発表が止まるトラブルもあったが、実行委員が臨機応変に対応し、大きなロスは発生しなかった。どの発表者も限られた時間と条件の中で効果的なプレゼンテーションを行っており、内容の濃い充実した発表であった。

3. おわりに

この企画は、延期となった LEEM PEEM 12 ワークショップの繋ぎとして内容を縮小したイベントであったが、Zoom ウィンドウ上での参加者はパネリスト含めて 100 名程度となっており、期間全体での延べ参加人数は 150~200 名程度であったのではないかと推測される。これはレギュラーのワークショップに匹敵する参加人数であり、当分野の研究者にとってこの集まりの重要性が認識されていることを実感した。筆者はこのワークショップ以外にいくつかの国内学会・研究会に参加したので、共通して感じたことを述べると、口頭発表については現地開催での研究会とそれほど大差なく、普通にセッションを聞くことができると感じた（通信トラブルなどもたまに生じるが、これは現地開催でも PC とプロジェクターの通信不良などが起こることを考えると大きな違いとは思わなかった）。逆に、ポスター発表については、工夫次第では現地でのセッションよりも情報収集が便利になる可能性を感じた。現地では人気のある講演は、人ごみの中で遠目でプレゼンを聞く必要があることも多いが、オンライン上では、時間帯を気にすることなく自由にゆつくりと閲覧し、チャット上に質問を残すなどの方法がとることができる。一方で、やはり、現地に赴いて対面でセッションに参加するにはやはり大きな意味があることも再認識した。まず、オンライン参加でいつもの職場に居ると頭の切り替えがうまくいかず、セッションの途中で通常業務の圧力が勝ってしまい戻れなくなってしまうこともしばしばある。また、セッション外のフリーディスカッションやポスター発表会場でのそぞろ歩きがあるからこそ、普段接点のない分野や新しい研究者との交流、新しい融合研究に関するアイデアが生まれるのだと改めて感じた。おそ

らく他の研究者の方々も同様に感じているはずで、コロナ禍が落ち着いた何年か後にはこれまでの形式の研究会が再開されるものと想像しているが、オンライン形式を余儀なくされたからこそ気付いた点を活かして、これまで以上に充実度の増した研究会が増えることを願いたい。加えて、プレゼンテーション素材における著作権への配慮や（特にポスター）、発表中のスクリーンショットの禁止など、倫理的なルールを再認識する機会にもなったと思う。筆者もこの規則に則り、プレゼンテーションをできるだけ頭に入れるよう集中して拝聴した。なお、チュートリアル講演を全て終えた 3 日目の終わりには“conference photo”ということで参加者に対してモニターのアクティブ化が促され、実行委員によるスクリーンショット撮影が行われた。この瞬間のショットについてはきつとお答めなしであろう。記念として載せておくことにする（図2）。

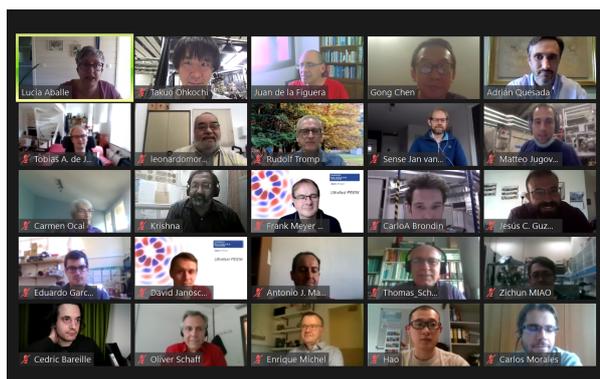


図2 チュートリアル講演後の conference photo の様子

参考文献

- [1] <https://leempeem12.secv.es/online-event/>
- [2] L. Yu, et al.: *Ultramicroscopy*, **216** (2020) 113017.

大河内 拓雄 OHKOCHI Takuo

(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・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 : 0791-58-0802 ext 3924
e-mail : o-taku@spring8.or.jp

Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid State Science (PRiME 2020) 報告

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

1. はじめに

2020年10月4~9日にかけて開催された、国際電気化学会 Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid State Science 2020 (PRiME 2020) に参加した。PRiME は米国の The Electrochemical Society (ECS)、日本の The Electrochemical Society of Japan (ECSJ) と韓国の The Korean Electrochemical Society (KECS) が主催者として、4年毎にハワイで開催している国際会議である。PRiME は毎年春と秋に開催される ECS meeting も兼ねており、ECS meeting は今回で第238回を数える歴史と権威のある学会である。報告者は2019年に開催された236th ECS meeting に続き2回目の参加であった。余談であるが236th ECS meeting では移動日の10月12日に大型の台風19号が日本に上陸したため、報告者を含む多くの日本人は参加の取りやめ or 日程の大幅削減という苦い経験をしていた。そのために「2020年のハワイは全日参加で」と心に決めていた日本人研究者が多かった(と思う)。しかし、結果としてPRiME 2020はCOVID-19の影響を受けて初のオンライン開催に変更されることとなった。現地開催が取り消されたことは極めて残念であったが、視点を変えれば初のオンラインPRiME(およびECS)会議へ参加する機会に恵まれたとも言える。第1回オンラインPRiMEということで、参加者側だけでなく運営側にも様々な局面で試行錯誤が強いられる会議となった。本稿では記念すべき初オンラインPRiMEの会議形式や会議内容について、自身の体験や感想を交えながら報告する。

2. オンライン会議の形式

PRiME 2020では、事前に講演者が学会へ提出した

資料を期間中に閲覧する On-demand 形式が採用された。この形式ではその場限りの「Live 感覚」は失われてしまうが、講演を繰り返し視聴できる利点を持つ。この利点は英語の聞き取りが苦手な報告者にとって、大変有難いものであった。特に Invited talk などの講演では、研究背景から結果・考察に至るまで分かりやすくまとめられている講演が多く、繰り返し見直すことでその研究分野に対する理解を深めることができた。これに加えて On-demand 形式では、普段はパラレルで開催されているために聴講できない分野へも自由に参加できる。その結果、従来よりも幅広い分野の講演を聴講できたことも利点として指摘しておきたい。

PRiME 2020では口頭発表者が提出するデータ形式として、自身が作成したプレゼンテーションに音声を入れた動画データ(.mov、.mp4や.fbr)が指定された。さらに希望者は資料データ(.pdf)の提出が可能となっており、閲覧者は資料データを自由に保存できるようになっていた。またポスター発表者は資料データを提出することが必須であったが、希望者は口頭発表者と同様に動画データも提出できた。そのために今回のオンライン会議では口頭発表者とポスター発表者の違いは皆無で、講演者は本人の意欲次第で資料を充実させることができた。PRiME 2020参加者はログイン後に講演者ページへアクセスすることで、講演者が提出した動画や資料を視聴することができた。例として報告者の講演者ページを図1に示す。このページではチャットも用意されており、参加者は講演に対する質問・コメントを書き込むことが可能であった。

学会の発表によると、講演者が提出した資料の75%は学会の前々日10月2日までには閲覧できるようになっていた。残念ながら報告者は残りの25%側に該当してしまったようで、web上に動画が無事掲載

されたのは学会3日目の10月6日であった。このような遅れが起きた理由には、学会側の作業の遅れが原因として考えられる。(学会側は雑音の大きい動画や声が聴きとりにくい動画に対して再録を求めていた。申請者が再録の指示を受けた日は、学会初日の3日前10月1日であった。)このような運営側の試行錯誤もあってか、動画を含めた全資料は学会終了後の11月4日頃まで閲覧できる措置が取られていた。

また Opening Ceremony、Plenary Talk といった学会の大きなイベントが Live で配信されただけでなく、各セッション内でも Live session と呼ばれる企画が日本時間の 9:00~10:00、21:00~22:00 に毎日開催された。報告者が予稿を提出していたシンポジウム I01D-11 Pt and Pt-Alloy Cathode Catalysts では、いくつかの講演について Chair person が事前にメールで質問を送付しておき、講演者が Live session 中に回答するという試みが行われていた。以上のような学会の工夫もあって、緊張感のあるオンライン会議が実現していた。



図1 PRiME 2020 の個人ページの概要^[1]。図の上部は予稿、下部が動画(および講演資料)となっており、参加者はこれらを自由に視聴できた。(現在は予稿のみ閲覧可能となっている。)

3. 会議報告 (Live 形式)

初日は Opening Ceremony と題して、Executive director の C. Jannuzzi 氏を皮切りに S. Kuwabata 氏、W. Shin 氏、S. D. Gendt 氏から開会の挨拶があった。挨拶の中では、ECS の歴史や初のオンライン開催に至った経緯、学会の参加者数などを紹介していた。

2日目の Plenary Talk では、N. G. Park 氏によりペロブスカイト型太陽電池の開発に関する講演が行われた。ペロブスカイト型太陽電池は、2012年に Park 氏らが光電変換効率 9% を達成して以降、現在では 25% を超えるなどシリコン系の太陽電池に匹敵する高い性能が報告されている材料である。Park 氏の発表前半では 10 年間のペロブスカイト型太陽電池分野の開発歴史について紹介があり、後半では今後の展望として高効率、大面積化、長寿命化といった項目を挙げ、これらに関連する最新の研究成果が紹介されていた。

3日目は The Electrochemical Energy Summit と題して、Panel discussion が行われた。話題提供として、H. Nishikori 氏から次世代電池の開発に関する NEDO の活動状況、C. H. Kim 氏から HYUNDAI の電気自動車の開発状況、S. Satyapal 氏から米国における燃料電池開発状況についてそれぞれ報告があった。Panel discussion では次世代電池と車との関わりが話題の中心となって 3 者間で活発な意見交換が行われていた。

4日目には、A. Yoshino 氏と M. Whittingham 氏によるノーベル賞受賞記念講演が行われた。Yoshino 氏は、2019 年のノーベル賞授賞理由となった Li イオン電池(特にアノード材料)の開発について、氏の生い立ちや苦労話を交えながら紹介していた。続く Whittingham 氏は、カソードとして用いられている Li_xTiS_2 の発見とカソード材料の変遷について、当時の実験データを交えながら紹介していた。

以上の講演は、動画共有サイトで公開されており、PRiME 2020 参加者以外も視聴可能となっている^[2]。

4. 会議報告 (On-demand 形式)

報告者は、燃料電池触媒粒子評価のための同一視野小角 X 線散乱 (SAXS)、X 線吸収分光 (XAS) 測定技術開発と放射光実験専用チャンネルフロー電気化学セルの開発に関する報告を行った。報告では開発した

チャンネルフロー電気化学セルの詳細な説明、同一視野 SAXS、XAS 測定技術（主に試料周辺）とこれらを用いて得た測定結果を報告した。参加者からは、開発した電気化学セルの材料や測定時間に関する質問をいただいた。幸いオンライン会議では自分のペースで質問に回答することが可能であったため、いただいた質問に対して丁寧に回答することができた。このようなオンライン会議の恩恵を受けることで、有益な情報交換をすることができた。

また報告者は、自身が登壇した燃料電池分野に加えて、電子・光デバイス分野を聴講した。以下では特に印象に残った講演を紹介したい。なお On-demand 形式であるため基本的に全講演の聴講が可能であったが、報告者の興味・関心によって聴講した分野にも偏りが生じていることをご容赦いただきたい。

燃料電池分野の聴講では、電池特性に影響を与えるカソード触媒に関連するセッションを中心に聴講した。このセッションでは Pt や Pt 合金触媒に関するセクション（5 セクション）と、Pt フリー触媒のセクション（2 セクション）に大きく分かれていた。特に報告者が聴講した Pt や Pt 合金触媒に関するセクションでは、新規触媒や担体の開発、素過程の解析結果の紹介、新しい解析手法の開発と多岐に及んでいた。

J. Brattem 氏からは、ラボ X 線 CT 装置に搭載可能とする膜／電極接合体（Membrane Electrode Assembly: MEA）評価用電気化学セルの開発に関する報告があった。講演では詳細な内部構造の紹介に加えてセルを用いた詳細な測定結果が示されていた。発表ではセルの作製で工夫した点や苦労した点の解説があり、大変参考となった。T. E. O'Brien 氏からは、カーボン担体の結晶状態や形態が Pt や Pt 合金触媒の形態に及ぼす効果についての報告があった。彼らのグループでは Pt 合金触媒やカーボン担体の形態観察に、透過電子顕微鏡と Advanced Photon Source 9-ID の X 線散乱を用いていた。9-ID は Bonse-Hart 光学系を採用しているビームラインであるために超小角散乱（USAXS: 測定波数領域は $10^{-4} \sim 1 \text{ \AA}^{-1}$ [9]）測定が可能となっている。このため SAXS 測定を用いて、触媒試料だけでなく担体の形態評価も定量的に実施して大変興味深い講演であった。続いて G. Shi 氏からは Nb ドープ SnO_2 を Pt 触媒の担体として利用した際の、酸化還元反応の活性に関する報告があった。Shi 氏

らが作製した SnO_2 担体と Pt 触媒の組み合わせは、一般的に広く用いられるカーボン担体と Pt 触媒の組み合わせよりも高い耐久性を示しており、温度や担持量を系統的に変えながら活性を評価することで高活性を示す要因を検討していた。

学会の後半では電子・光デバイス分野、特に薄膜トランジスタに関するセッションを聴講した。本セッションでは、IGZO などの酸化物半導体トランジスタが話題の中心であったが、カーボンナノチューブや有機半導体を用いたトランジスタに関する報告も数件あった。例えば、Y. Lee 氏らは有機トランジスタの電荷輸送機構に関する検討を報告していた。共同研究者に名を連ねていた Horowitz 氏は、長年にわたって有機薄膜トランジスタの電荷輸送機構を研究してきた第一人者である。講演では彼らが提唱してきた電荷輸送モデルについて説明が行われ、初学者にも大変勉強になる講演内容としてまとめられていた。一方、C. Jiang 氏らは完全印刷によって作製された低ゲート電圧駆動（ゲート電圧-1 V 程度で駆動、電界効果移動度は $1.0 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ ）有機薄膜トランジスタに関する報告を行っていた。講演の後半では、実際にモーションセンサーを作製して自身の脇付近に取り付け動作試験を実演していた。実演の様子は動画で示されており、感度の高いセンサーであることが一目でわかる内容にまとめられていた。有機トランジスタに関する発表件数は少なかったが、どれもインパクトの大きい発表であった。上に挙げた 2 件の講演からも、本学会がターゲットとする研究者の裾野がいかに広がりが伺えた。

5. おわりに

本稿では、PRiME 2020 の会議形式や会議内容について紹介させていただいた。今後の世界状況にも依存するが、オンラインの国際会議はますます増えていくと感じるほど充実した会議であった。最後にオンライン会議へ参加する際に苦慮した点を紹介したい。それは学会聴講に集中できる環境をいかに整えるかという点である。今回はオンライン国際会議ということで日中 8:00~17:30 にかけて聴講したのだが、学会中は業務の一環とはいえ PC に向かって動画を見る日々が 1 週間ほど続いた。10 月 4~9 日というユーザータイムが始まった頃で、頻りにビームラインと居室を歩き来するスタッフが多かった。この中で動画を見続け

ることは何とも言えない後ろめたさを感じた。(報告者は普段は誰も行き来しない部屋で聴講することで、後ろめたさを軽減させた。) この後ろめたさを避けるには、やはり現地開催が最善…かもしれない。

参考文献

- [1] <https://ecs.confex.com/ecs/prime2020/meetingapp.cgi>
- [2] <https://www.youtube.com/c/ECSTheElectrochemicalSociety>
- [3] J. Ilavsky *et al.*: *J. Appl. Cryst.* **42** (2009) 469-479.

渡辺 剛 WATANABE Takeshi

(公財) 高輝度光科学研究センター
放射光利用研究基盤センター 産業利用・産学連携推進室
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-0802
e-mail : t5511001@spring8.or.jp

「MRM forum 2020」 会議報告

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

1. はじめに

12月7日から9日にかけて3日間オンラインで開催されたMRM forum 2020について報告する。MRM forum 2020は、国際会議として昨年引き続いて予定されていたMRM2020が延期になったことを受けて企画された。会議は、基調講演・合同セッション、総合討論、公開討論、テクニカル・シンポジウム、チュートリアルで構成された。一般の参加者は概ねオンラインでの参加となり、基調講演や総合討論、公開討論での発表者やパネラー等は主として会場での参加となる形式で開催された。また、東北大学の石田清仁先生、旭化成株式会社の吉野彰先生、分子科学研究所の川合眞紀先生、東京工業大学の細野秀雄先生による4つの基調講演で構成された基調講演・合同セッション(写真1)を除いては、パラレル・セッションとして会議が進行された。参加者は事務局発表の概算で約600名であった。

放射光利用に関連するセッションとしては、後述するテクニカル・シンポジウム以外に、JASRIの木下豊彦氏とCROSSの宮崎司氏がチューターを務めた「放



写真1 基調講演・合同セッションの講演会場での講演者及び座長の先生方(左より細野先生、福山先生、川合先生、吉野先生、石田先生。写真提供:MRM2020フォーラム)

射光、中性子、ミュオンの応用研究の実際と利用について」と題するチュートリアル(写真2)や東京理科大学の福山秀敏先生が企画された公開討論「“元素”から物質・材料へ」というセッション、東京工業大学の細野秀雄先生の司会による総合討論「日本の材料研究の現状と課題・その解決の糸口を探る」が開催された。公開討論や総合討論では活発な意見交換が行われた。

2. テクニカル・シンポジウムについて

講演の大部分を占めるテクニカル・シンポジウムは、11セッションが設けられ、セッションへの講演者・参加者は全てオンラインで参加する形式で開催された。「Environmental Literacy and Materials Technology for Establishing the Sustainable Society」と題する国際セッションを除く10セッションでは、日本語での討論となった。ここでは、筆者がテクニカル・シンポジウムのオーガナイザーを務めたTS-4「物質材料科学における量子ビームの連携利用の現状と将来」について詳しく報告する。

テクニカル・シンポジウムTS-4においては、シンポジウムのタイトルに掲げた量子ビームの連携利用



写真2 チュートリアル・セッションでの会場の様子(左側が宮崎氏、右側が木下氏。写真提供:MRM2020フォーラム)

だけではなく、産業利用やデータ科学を利用した解析技術、国内の放射光施設間の連携活動など幅広い分野での議論を行った。シンポジウム全体は、1件の基調講演、2件の招待講演、10件の口頭発表で構成され、2日目の午前及び午後にもわたる議論が行われた。加えて、夕方にはポスター・セッションでの発表も行われた。シンポジウム TS-4 午前中のプログラムは、金谷利治先生（京都大学）による「量子ビーム連携の現状と将来」と題する基調講演に引き続き、増井友美氏（住友ゴム工業（株））による招待講演などソフトマター分野における放射光と中性子の連携利用及び産学連携による成果が紹介され、今後の量子ビーム連携や産学連携による成果創出に向けての活発な議論が行われた。午後のプログラムでは、小野寛太氏（KEK）による招待講演を含むデータ科学的解析技術の量子ビーム実験への応用例の紹介や硬 X 線領域の XAFS や光電子分光におけるラウンドロビン活動の報告、ミュオンや陽電子ビームを用いた成果報告も行われ、ポスター・セッションも含めて、終日活発な議論がなされた。

3. 最後に

今回の MRM forum は、少なくともテクニカル・シンポジウムについて組織委員側も手探りでの準備を経ての開催となったが、筆者が参加したセッションでは聴衆からの積極的な質問やコメントで時間を超過するほどの活発な議論が続き、盛会のうちに終えることができたと思われる。一方で、筆者がオンライン形式で初めてセッションの座長を務めることになったこともあり、今回筆者が担当したシンポジウムにおいてはオンラインならではの経験をする事となった。普段の対面式の会議と違って質疑応答の際に聴衆全体を見渡すことができないことに加えて質問者側の不慣れも相まって座長が指名する前に質問者からの質問が始まってしまったり、発表者の音声がつながらず急遽プログラムの差替えを行ったり、綱渡りの運営となった部分もあった。会議運営上の窮地を助けていただいた会場系のスタッフの皆様に改めて感謝を申し上げたい。当初予定されていた MRM2020 は MRM2021 として本年 12 月に延期され、開催される予定である。

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

第4回 SPring-8 秋の学校を終えて

SPring-8 ユーザー協同体 (SPRUC) 行事幹事 (秋の学校担当)
 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
 量子ビーム科学部門
 大和田 謙二

秋の学校概要

第4回 SPring-8 秋の学校が、12月20日(日)～12月23日(水)の3泊4日の日程で開催されました。SPring-8 秋の学校は SPring-8 ユーザー協同体 (SPRUC) と高輝度光科学研究センター (JASRI) が主催し、大学や関係諸機関の協力を得て行われるものです。校長には SPRUC 会長の木村昭夫先生 (広島大学教授) が就任し、事務局は JASRI 利用推進部にご担当いただきました。第3回から一部大学では SPring-8 秋の学校への参加を単位認定する動きがあり、兵庫県立大学では大学院新設コースでの講義・実習の単位の一部として認定、また、関西学院大学では学部学生用の集中講義科目として単位を認定しています。

「SPring-8 秋の学校」は、SPring-8 ユーザーの発掘、ひいては次世代の放射光科学に貢献する人材の発掘を目指しています。「SPring-8 夏の学校」と違い、放射線業務従事者登録や学年、指定校推薦等の参加資格の制限がなく、誰でも参加でき、卒業研究や大学院進学を控えた方々が進路を考える機会、また、これから放射光の利用を考えている大学院生や企業研究者の方々へ放射光を知っていただく機会等々、となることを趣旨としています。

実施時期についてですが、今年は新型コロナウイルス

感染拡大の影響で実行委員会の組織が大幅に遅れたことから9月開催を断念し、12月開催としました。募集人数を40名程度とする一方で“密”回避のために講習数を20 (1講習当たり受講生2名を目安) 程度準備することを決めました。

今回、21校8社 (国研、大学含む) から47名の参加を得ました。内訳は次の通りです。学生38名 (学部1年生1名、学部2年生1名、学部3年生7名、学部4年生11名、博士課程前期 (修士) 1年12名、博士課程前期 (修士) 2年4名、博士課程後期1年1名、博士課程後期2年1名)、社会人9名 (企業からの参加3名、大学関係者2名、国研関係者4名)。男性32名、女性15名。33名が SPring-8/SACLA の今年度の放射線業務従事者登録“なし”でした。

カリキュラムについて

カリキュラムは、初日に3講座、2日目に4講座の基礎的な講義を行い、その後の2日間に3テーマのグループ講習が行われました。参加者は以下の「グループ講習について」で示す18テーマから希望する3テーマを選択し、受講しました。2日目には、SACLA と SPring-8 蓄積リング実験ホール一周の見学が行われました。

第4回 SPring-8 秋の学校 日程表

	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19						
12/20 (日)		受付 10:30 - 11:20	開校式 「SPring-8紹介」 11:20 - 12:50 放射線業務の基礎 正木 達博 (JASRI)	昼食 12:50 - 14:00	「基礎講義 2」 ビーム科学 仙波 泰徳 (JASRI)	14:00 - 15:30	集合 写真 休憩 撮影 15:50 - 17:20	「基礎講義 3」 X線カメラ 植島 謙 (兵庫県立大学)	17:20 - 18:20	自己紹介	18:20~	Check-in 夕食					
12/21 (月)	「基礎講義 4」 X線自由電子レーザー入門 大塚 泰司 (理化学研究所)	9:00 - 10:20	休憩	「基礎講義 5」 回折・散乱の基礎と 構造解析への応用 藤原 明比古 (関西学院大学)	10:30 - 11:50	昼食	11:50 - 13:00	SPRING-8実験ホール SACLA見学	13:00 - 15:00	休憩	「基礎講義 6」 XAFSの基礎 伊奈 勉 (JASRI)	15:10 - 16:30	休憩	「基礎講義 7」 X線検出器の基礎 上杉 健太郎 (JASRI)	16:40 - 18:00	18:00~	夕食
12/22 (火)	移動		9:30 - 13:00	グループ講習 1	13:00 - 14:00	昼食	14:00 - 17:30	グループ講習 2	17:30~	夕食							
12/23 (水)	移動		9:30 - 13:00	グループ講習 3	13:00 - 14:00	昼食	14:00 - 15:30	SPRING-8企業利用相談会 ※希望者のみ									

基礎講義について

基礎講義内容と担当者(敬称略)は以下の通りです。工夫が凝らされ大変わかりやすく、また、講義中や講義後の質問が多くて時間がおす場面も多くあり、参加者にとって満足のゆく講義であったと思われます。

基礎講義 1. 放射光発生の基礎

正木満博(高輝度光科学研究センター)

基礎講義 2. ビームライン

～光源と実験ステーションを繋ぐもの～

仙波泰徳(高輝度光科学研究センター)

基礎講義 3. X線イメージング

籠島靖(兵庫県立大学)

基礎講義 4. X線自由電子レーザー入門

大坂泰斗(理化学研究所)

基礎講義 5. 回折・散乱の基礎と構造解析への応用

藤原明比古(関西学院大学)

基礎講義 6. XAFSの基礎

伊奈稔哲(高輝度光科学研究センター)

基礎講義 7. X線検出器の基礎

上杉健太朗(高輝度光科学研究センター)



図1 講義風景



図2 グループ講習風景

グループ講習について

グループ講習のテーマと担当者(敬称略)は以下の通りでした。今回18テーマ20講習を準備することができました。SPRING-8施設の停止期間中ではありましたが、現地にて実際の装置やデータを手に取って進めることで効果的な講習になったと思われます。

1. 単結晶構造解析

橋爪大輔(理化学研究所 CEMS)

杉本邦久(高輝度光科学研究センター)

2. 粉末X線回折によるその場観測の実際

河口彰吾(高輝度光科学研究センター)

山田大貴(高輝度光科学研究センター)

3. タンパク質結晶構造解析

水島恒裕(兵庫県立大学)

河村高志(高輝度光科学研究センター)

4. 小角X線散乱*

増永啓康(高輝度光科学研究センター)

関口博史(高輝度光科学研究センター)

5. PDF法を用いたガラスの構造解析

尾原幸治(高輝度光科学研究センター)

山田大貴(高輝度光科学研究センター)

廣井慧(高輝度光科学研究センター)

6. X線非弾性散乱入門

筒井智嗣(高輝度光科学研究センター)

Baron Alfred(高輝度光科学研究センター)

7. 応力・ひずみ解析

菖蒲敬久(日本原子力研究開発機構)

富永亜希(日本原子力研究開発機構)

城鮎美(量子科学技術研究開発機構)

8. X線回折・散乱を用いた薄膜構造評価

小金澤智之(高輝度光科学研究センター)

9. X線反射率法(とその発展形)による界面構造解析

若林裕助(東北大学)

10. X線吸収分光法*

山添誠司(首都大学東京)

新田清文(高輝度光科学研究センター)

別府孝介(龍谷大学)

11. リアルで見る軟X線分光

松田巖(東京大学)

12. 赤外分光分析

池本夕佳(高輝度光科学研究センター)

岡村英一(徳島大学)

13. 光電子分光 (HAXPES)
保井晃 (高輝度光科学研究センター)
高木康多 (高輝度光科学研究センター)
14. メスバウアー分光入門
藤原孝将 (量子科学技術研究開発機構)
15. X線 CT 入門
上杉健太朗 (高輝度光科学研究センター)
八木直人 (高輝度光科学研究センター)
16. 結像型 X 線顕微鏡による顕微 CT
高山裕貴 (兵庫県立大学)
17. 高圧力の発生と高圧下の物質科学
石松直樹 (広島大学)
町田晃彦 (量子科学技術研究開発機構)
18. ドーパント原子配列解析
松下智裕 (奈良先端科学技術大学院大学)

※ 2 講習実施テーマ

今回、新型コロナウイルス感染拡大のなかでの募集であり、申し込みがあるかどうか不安もありましたが 47 名の参加を得て開催することができました。参加者や講師の皆様が SPring-8 の定める感染防止対策をしっかり守ってくださったおかげで、閉校後 3 週間経った本稿執筆時点でも体調不良等の報告は届いておりません。

グループ講習は例年と比べると少人数での実施となりましたが、受講者のコメントを見ますと、かえって好評だったようです。一方、講習の先生方からの意見は分かれましました。今回残念ながら懇親会、バーベキュー等は感染防止の観点から実施できませんでした。代わりに自己紹介の時間等を設け交流の機会を確保しました。参加者同士それなりにコミュニケーションが取れ互いに良い刺激を受けたようでした。

参加者に実施したアンケートによれば、どのように



図3 見学風景

SPring-8 秋の学校を知ったか (複数回答可) については「周囲の勧めで」が最も多く、「ポスター」「募集メール」と続きます。ここに改めて、関係する皆様のご支援に感謝申し上げます。

次回以降、アンケートの分析結果をもとに SPring-8 秋の学校をどのような方向に発展させていくかは SPRUC 全体の課題です。SPRUC 会員の皆様の忌憚のないご意見を賜ることができれば幸いです。

最後に、今回の参加申し込み数は 60 件あったことを附記します。この件数は過去最高の前回 (64 件) に近く、「SPring-8 秋の学校」が広く認知されてきた結果であると期待します。様々な事情から今回参加を見送らざるを得なかった方々の、次の機会の参加をお待ちします。

謝辞

新型コロナウイルス感染拡大のなかでの開催となりましたが、このような状況下にあっても、丁寧に講義をしてくださった講師の先生方や 2 日間にわたる講習を熱心に指導していただいたグループ講習担当の先生方、分かりやすい説明で参加者の興味を引きつけてくださった見学引率者の皆様に感謝申し上げます。

また、事務局として関係各所との調整、ウェブ作成等実に様々な準備・手続等をしていただきました JASRI 事務局担当者の皆様に感謝申し上げます。新型コロナウイルス感染拡大防止対策に御助言いただき、開催期間中も常に気をかけていただきました JASRI の岡田看護師に感謝申し上げます。新型コロナウイルス感染拡大のなかでの秋の学校実施計画の立案には 2020 年夏に実施された「第 20 回 SPring-8 夏の学校」の経験が大変参考になりました。感謝申し上げます。

受講生の入域や宿泊の管理、また、秋の学校のために本来予定していなかった日時の食堂の営業を決断してくださった理化学研究所に感謝申し上げます。

最後に、講師の選定、テーマの決定にご協力いただいた SPRUC 研究会の方々に感謝申し上げます。

大和田 謙二 OHWADA Kenji

(国) 量子科学技術研究開発機構 量子ビーム科学部門
関西光科学研究所 放射光科学研究センター
〒679-5148 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-1045
e-mail : ohwada.kenji@qst.go.jp

第4回 SPring-8 秋の学校に参加して

住友電気工業株式会社
解析技術研究センター
高橋 美郷

住友電気工業株式会社では放射光を用いて研究開発を行っています。私個人は今年の秋から放射光分析に取り組み始めて SPring-8 も利用していましたが、放射光分析に関して経験も浅く、まだまだ初心者でした。そのような時に企業の研究者も参加可能で放射光の基礎を学べる「秋の学校」の存在を知り、参加することにしました。

基礎講義では、光源、光学系、検出器の原理から、回折・散乱・吸収・イメージングと実際の測定手法まで網羅的に解説してくださり、放射光科学についての理解が進みました。参加者の中にはこれから放射光を利用したいという方も多く、放射光科学を広範に学べたことは、これから使う手法の勉強に役に立つと共に、モチベーションアップにもなったと思います。私は、特に X 線自由電子レーザー入門の講義が印象的でした。全く予備知識がありませんでしたが、レーザーとは何かの話から始まり、X線自由レーザーの仕組みや、それを利用したサイエンスについて面白い例えを交えながら説明していただいたので理解することができました。また、実際の実験の様子も紹介していただき、世界の第一線の研究の話に胸が高鳴りました。

グループ講習ではビームラインに行き、実験の手法を、装置を実際に見て動かしながら解説してくださいました。また、測定データを使用してデータ解析を体験しました。2~3 人と少人数の講習であったため疑問点を丁寧に教えていただけ、理解が深まりました。また、SPring-8 が停止期間のため、普段は入れない上流のハッチの見学ができ、貴重な経験となりました。

今年は例年開催されている懇親会やバーベキューが中止になってしまいましたが、講義の後やグループ講習の時などに参加者や講師の方とお話することができ、交流を深められたと思います。参加者のバックグラウンドは、無機材料、高分子やタンパク質の構造解析や木材や果実などの環境物質の分析など幅広いことに驚きました。放射光施設を利用するという共通点で他分野の研究者と交流ができ、有意義な時間でした。これから放射光施設を利用したいと考えている学生の参加者も多く、彼らにとっても刺激的な経験となったことと思います。今後、SPring-8 で再会できることを楽しみにしています。

最後になりますが、新型コロナウイルス感染拡大の影響で不安が広がるなか、グループ講習も含めた例年と変わらぬカリキュラムで実施していただき、ありがとうございました。十分な感染対策がされていて、安心して参加することができました。開催するにあたり、苦労も多かったことと思います。講師の先生方、ビームライン実習担当の職員の皆様ならびに SPring-8 秋の学校事務局の皆様にお礼申し上げます。



図4 集合写真（放射光普及棟前にて撮影）

フロンティアソフトマター開発専用ビームライン 第10回研究発表会

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
代 表 松野 信也
運営委員長 岩田 忠久

1. はじめに

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) は第10回研究発表会を2021年1月12日に開催した。

FSBLは、ソフトマターの分野で日本を代表する企業と大学によって、放射光利用によるソフトマターの研究開発の発展を目指して結成された連合体である。FSBLは(国研)理化学研究所と(公財)高輝度光科学研究センターの多大なご協力のもと大型放射光施設SPring-8のBL03XUに、日本で初めてのソフトマター研究開発専用ビームラインを設置した。2010年4月より供用を開始し、2019年9月に第1期の活動を終了した。現在、FSBLは2019年10月より第2期となり、活動を継続させている。FSBLはビームラインにおいて創出された研究成果を、広く一般に発表するとともに、参加メンバー間での情報を共有し、さらに効果的かつ高度な成果を輩出するため、年に1回研究発表会を開催している。今回の第10回研究発表会は第1期FSBLとして最後の研究発表会となった。当初、この第10回研究発表会は名古屋工業大学での開催を予定していたが、新型コロナウイルスの感染拡大の影響により、オンラインでの開催となった。以下にその概要を示す。

2. 開会の挨拶

FSBL代表 松野信也(旭化成株式会社)より、研究発表会の開会が宣言され、4名の来賓よりご挨拶を頂戴した。

まず、文部科学省 科学技術・学術政策局 量子研究推進室 河原卓室長より、産学連携での新たな取り組みでこれまでの10年間で多くの成果が創出されており、今後の活動にもさらなる期待が寄せられているこ

となど、挨拶のお言葉をいただいた。続いて(国研)理化学研究所 放射光科学研究センター 石川哲也センター長より、10年間特徴のある有意義な成果が多く創出されてきたが、今後は更なる飛躍のためにも、これまでの体制を見直し新たな形への変革が必要であり、FSBLに期待が寄せられていることなど、挨拶のお言葉をいただいた。

さらに、(公財)高輝度光科学研究センター 雨宮慶幸理事長より第1期の10年で多くの成果が得られたが、今後は新たな取り組みを行うことが必要であることなど、挨拶のお言葉をいただいた。最後に、FSBL企画戦略アドバイザーで(一社)光科学イノベーションセンター理事長でもある高田昌樹先生(東北大学教授)より、さまざまな困難を乗り越えて設立したFSBLの更なる発展を期待しているとの挨拶のお言葉をいただいた。

引き続きFSBL運営委員会委員長 岩田忠久(東京大学教授)より、FSBLの概要、沿革、最近の活動についての紹介を行った。

3. 講演会第1部

FSBL副代表 小島優子(三菱ケミカル株式会社)を座長とし、研究発表会講演会第1部を開始した。

「高輝度軟X線を利用した先端計測法の現状～ソフトマテリアル研究の新展開に向けて～」と題して、(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・イメージング推進室 為則雄祐室長に特別講演をしていただいた。ご講演では、SPring-8にて展開されている最先端の軟X線計測法をご紹介いただき、ソフトマテリアル分野での利用法についていくつかの事例をご提案いただいた。

次にFSBLメンバーのDICグループより「USAXS

による粒子分散体のチキソ挙動時の構造解析」と題して発表が行われた。印刷や塗布といった剪断がかかる状態で使用されるインキやコーティング剤など分散体でみられる剪断で低下した粘度が時間経過で回復する現象、チキソ挙動について、粒子分散体の階層構造の動的評価という面から明らかにするための研究結果である。研究ではチキソ挙動における粘度回復過程において、分散構造の変化を USAXS プロファイルから確認することに成功し、分散製品開発での階層構造制御の重要性と粘度特性理解に有用な結果を得ることができたことが報告された。

続いて FSBL メンバーの帝人グループより「In situ X 線散乱解析に用いる各種ステージの開発」と題して市販の延伸装置では達成できない延伸条件下での X 線散乱測定についての発表が行われた。帝人グループは、1200°Cでの延伸下での X 線散乱測定が可能な高速高温引張ステージを開発して、実際の炭素繊維の焼成プロセスを模した条件で生成された炭素の配向度や結晶サイズの変化の様子を WAXS により明らかにした結果、ならびに圧縮アクセサリーを装備したリンカム社製の延伸ステージを用いて圧縮応力下での超高分子量ポリエチレン (UHMWPE) の結晶相転移 (hexagonal→orthorhombic) を WAXS で捉えることができたことを報告した。

講演会第 1 部の最後には、アドバンスチャレンジ課題の成果報告がなされた。FSBL では 2017 年度より、参画グループ各社からビームタイムを出し合い、全参画グループにとって重要かつ BL03XU で着手される機会のなかった斬新な課題を募集し、産学連携将来高度化委員会審査の上、アドバンスチャレンジ課題として採択し、その実施をしている。

2019 年度に実施されたアドバンスチャレンジ課題のうち、名古屋工業大学 山本勝宏准教授より、「異常分散効果を利用した斜入射小角 X 線散乱法による多成分系高分子薄膜の構造解析」と題して、発表が行われた。この研究においては、ポリスチレン (PS) -b-ポリヒドロキシスチレン (PHS) に臭素化ポリヒドロキシスチレン (Br-PHS) をブレンドした高分子薄膜において、Br の吸収端近傍で X 線エネルギーを変化させながら斜入射小角 X 線散乱 (GISAXS) 測定を行い、Br-PHS の空間分布およびマイクロドメイン構造の配向の

深さ依存性を明らかにしており、山本准教授は異常分散効果を利用した斜入射小角 X 線散乱法を用いることによりサブ μm ~数 μm スケールでの深さ分解構造解析と特定成分の空間分布解析が可能であることを示した。

4. 講演会第 2 部

講演会第 2 部においては、FSBL 運営副委員長 秋葉勇 (北九州市立大学教授) を座長とし、北九州市立大学国際環境工学部 櫻井和朗教授の特別講演および 3 つの FSBL からの講演が行われた。

特別講演「レギュラトリーサイエンスから見た溶液中のナノ粒子の特性評価」においては、櫻井教授らが基礎から開発を始めて、現在臨床試験を行っている多糖核酸複合体、また精密な構造解析をした高分子ミセルなどの例を用いて、溶液散乱法が明らかにできる水溶液液中のナノメディシンの構造やその分布に関して講演いただいた。

次に FSBL メンバーの住友ゴムグループより「X 線光子相関分光法による伸長下でのゴム中のフィラーの運動解析」と題して発表が行われた。同グループは、XPCS データから Two-time correlation を計算し、伸長時でのゴム中のフィラーの運動の時間変化と運動の異方性について検討を行った結果についての報告を行った。報告において、伸長に対して平行方向にはシリカの運動性は時間とともに変化するのに対して、伸長に垂直方向ではシリカの運動性は変化しにくいことを明らかにし、その要因が伸長により生じる垂直方向の圧縮の力であるということが報告された。

続いて FSBL メンバーであったが、2019 年 9 月の FSBL 第 1 期満了時に脱退された昭和電工グループより「アイソタクチックポリプロピレンシートの高透明化と構造」と題して発表が行われた。発表では、アイソタクチックポリプロピレン (iPP) と熔融型透明核剤からなる系を伸長結晶化すると“ナノ配向結晶 (nano oriented crystal, NOC)”生成による高透明化と高性能化が小さな伸長ひずみ速度で容易に実現できること、およびそのメカニズムを解明するための検証を行った結果についての報告がなされた。

最後に、ビームライン担当者よりハイスループット化についての報告がなされた。FSBL では、BL03XU

建設より10年が経過し、より測定性能や安全性を向上させるため、実験設備のハイスループット化を2020年度に実施した。報告では、小角カメラ距離変更システムの全自動化及び省力化の実施により、これまで実験装置の変更には数時間から1日弱の時間を有していたが、数分から1~2時間程度に機器調整時間を削減し、実測定時間を増加させたことが報告された。さらに、より高精度のマイクロビーム測定システム、USAXS測定システムを導入することにより、アンジュレータ光源をフル活用したより高度な小角X線散乱測定が可能となったこと、また遮蔽ハッチの開閉部への安全装置の追加や、光源・光学系基幹チャンネル及び制御・インターロック部品の入れ替えにより、安全性や設備の安定性の向上も実現できたことが報告された。

5. 総括

FSBL 学術諮問委員会 橋本竹治委員長(京都大学名誉教授)ならびにFSBL 堀江賞選定委員会・産学連携将来高度化委員会 田代孝二委員長(豊田工業大学教授)より、引き続き活発な活動がFSBLで実施されるとともに、多くの成果が創出されることを祈念する言葉をいただき、閉会となった。

6. まとめ

今回初のオンライン開催となり、発表者のプレゼンテーション資料の画面共有がスムーズでなかったり、質疑応答や発表内容への議論を行う場がないなど、運営側で多くの反省点があったが、参加登録者数156名、最大同時接続者数118名となり、FSBLの活動を広く多くの方々に報告することができた。

謝辞

FSBL 第10回研究発表会は、下記の13団体より協賛をいただいた。深く感謝申し上げる次第である。

- ・(国研) 理化学研究所 放射光科学研究センター
- ・(公財) 高輝度光科学研究センター
- ・(公社) 高分子学会
- ・(一社) 繊維学会
- ・(一社) 日本ゴム協会
- ・(公社) 日本化学会

- ・日本中性子科学会
- ・日本放射光学会
- ・産業用専用ビームライン建設利用共同体 (サンビーム)
- ・京都大学産官学連携本部革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発拠点 (京大ビームライン)
- ・東京大学放射光連携研究機構 (東大ビームライン)
- ・(株) 豊田中央研究所 (豊田ビームライン)
- ・(公財) ひょうご科学技術協会 (兵庫県ビームライン)

松野 信也 MATSUNO Shinya

岩田 忠久 IWATA Tadahisa

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
〒679-5148 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-1911
e-mail : fsbl@spring8.or.jp

2021A 期 SACLA 利用研究課題の採択について

登録施設利用促進機関

公益財団法人高輝度光科学研究センター
利用推進部

高輝度光科学研究センター（JASRI）の SACLA 利用研究課題審査委員会（SACLA PRC）において、SACLA の供用運転開始以降第 18 期目に当たる 2021A 期（2021 年 3 月～2021 年 7 月）の利用研究課題応募 63 課題を審査しました。

さらに、当該審査結果について SACLA 選定委員会の意見を聴き、JASRI として 44 課題を採択しました。

1. 募集、審査及び採択等の日程

2021A 期の課題募集、審査及び採択は、以下のスケジュールを経て行われました。

(2020 年)

9 月 30 日 ホームページで募集案内公開

10 月 30 日 応募締切

～この間、審査基準に即した各課題の個別審査を実施～

12 月 18 日 第 20 回 SACLA PRC（総合審査）

(2021 年)

1 月 6 日 第 23 回 SACLA 選定委員会（審査結果の意見聴取）

1 月 8 日 JASRI として採否決定、結果通知

4 月 6 日 2021A 期利用開始予定

2. 応募、採択及びビームタイム配分状況

2021A 期の応募課題数は 63、採択課題数は 44 でした。また応募課題は全て一般課題/成果非専有利用でした。ビームライン別・申請者所属別の応募・採択課題数を表 1 に、採択された課題の要求シフト数および配分シフト数を表 2 に示します。

採択 44 課題に対しビームタイムは計 248 シフト（1 シフト＝12 時間）が配分されました（フィジビリティチェックビームタイム（FCBT）0.5 シフトを含む）。配分シフト数を含む採択 44 課題の一覧は、以下の Web サイトに掲載しています。

◆ SACLA User Information

> SACLA 利用案内 > 採択課題/実施課題

> 採択課題一覧 > 2021A

http://sacla.xfel.jp/wp-content/uploads/sacla_approved_proposal_2021a_j.pdf

表 1

(単位：課題数)

ビームライン	産業界		大学等教育機関		国公立試験研究機関等		海外機関		合計		採択率
	応募	採択	応募	採択	応募	採択	応募	採択	応募	採択	
BL1			3	3	3	3	3	2	9	8	70%
BL2/BL3	1	1	16	12	9	9	28	14	54	36	
合計	1	1	19	15	12	12	31	16	63	44	

表 2

(単位：シフト数)

課題種	A	B	C	C/A	C/B
	応募課題 (63 課題) の全要求シフト数	採択課題 (44 課題) の全要求シフト数	採択課題 (44 課題) の全配分シフト数	配分率 (採択配分/応募要求)	配分率 (採択配分/採択要求)
一般課題 (成果非専有)	390.5	284	248	64%	87%
一般課題 (成果専有)	-	-	-	-	-
合計	390.5	284	248	64%	87%

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

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

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

◎2020年9～12月の運転実績

SPring-8は9月25日から12月15日までセベラルバンチ運転で第4サイクルの運転を実施した。第4サイクルではビームライン安全インターロック発報によるビームアボートがあったが、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4サイクルは約0.1%であった。

1. 装置運転関係

(1) 運転期間

第4サイクル(9/25(金)～12/15(火))

(2) 運転時間の内訳

第4サイクル

運転時間総計 約1,945時間

①装置の調整およびマシンスタディ等 約313時間

②放射光利用運転時間 約1,630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 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0.1%

(3) 運転スペック等

第4サイクル(セベラルバンチ運転)

- ・4 bunch train × 84 (B)
- ・11/29 filling + 1 bunch (H)
- ・203 bunches (A)
- ・203 bunches (A)
- ・11/29 filling + 1 bunch (H)
- ・11 bunch train × 29 (C)
- ・1/7 filling + 5 bunches (D)
- ・2/29 filling + 26 bunches (E)
- ・2/29 filling + 26 bunches (E)

・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Top-Upモードで実施。

・蓄積電流 8 GeV、～100 mA

(4) 主なdown timeの原因

・BL01B1安全インターロックによるアボート

2. 利用関係(JASRI利用推進部集計)

(1) 放射光利用実験期間

第4サイクル(10/2(金)～12/14(月))

(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 18本

理研ビームライン 13本

第4サイクル(暫定値)

共同利用研究実験数 778件

共同利用研究者数 3,400名

専用施設利用研究実験数 508件

専用施設利用研究者数 1,738名

◎2020年12～2021年1月の運転実績(停止期間)

SPring-8は12月16日から1月16日まで冬期点検調整期間とし、加速器やビームラインに係わる機器の改造・点検作業、電気・冷却設備等の機器の点検作業を行った。

(冬期点検調整期間中の主な作業(計画))

(1) 入射器関係(Li, Sy, XSBT)

・XSBT真空調査

・XSBT電源、SSBT電磁石ドアインターロック変更

・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
- ・偏向電磁石絶縁ホース交換
- ・真空系及び冷却水関連作業、調整
- ・LLRF 系調整、電力測定
- ・チューナーコントローラ交換
- ・アークセンサ回路構築
- ・モニタ関連ケーブル敷設
- ・MTCA.4 ファームウェア更新
- ・ID 作業及びメンテナンス、ID25 関連作業
- ・FE 作業及び冷却水配管工事、駆動系検査
- ・BL 改造工事 (BL20B2、BL35XU)
- ・BL インターロック工事、検査

(3) ユーティリティ関係

- ・電気設備保守点検
- ・冷却水設備保守定期点検
- ・空調用設備保守点検
- ・消防設備等点検

(4) 安全管理関係

- ・放射線監視設備定期点検
- ・特例区域設置
- ・放射線モニタ更新工事
- ・その他作業及び点検

(5) その他

- ・蓄積リング棟他 LED 化更新
(実験ホール、長尺 BL 実験施設)

◎2021 年 1～2 月の運転予定

SPring-8 は 1 月 17 日から 2 月 20 日までセベラルバンチ運転で第 5 サイクルの運転を予定している。

2 月 21 日から 3 月 30 日まで年度末点検調整期間とし、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 サイクルの運転実績については次号にて掲載する。

(*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 (2020年12月31日現在)

SPring-8

Beamline Name		Public Use Since	~2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Total	
Public Beamlines	BL01B1	XAFS	1997.10	415	76	65	74	92	75	87	94	81	84	80	1223
		Technical Journal				1									1
	BL02B1	Single Crystal Structure Analysis	1997.10	140	12	18	36	42	36	44	39	29	45	41	482
	BL02B2	Powder Diffraction	1999.9	505	82	59	96	71	82	95	79	73	72	79	1293
	BL04B1	High Temperature and High Pressure Research	1997.10	174	22	16	20	19	16	16	15	15	19	12	344
	BL04B2	High Energy X-ray Diffraction	1999.9	194	23	28	28	33	37	43	30	40	38	56	550
		Technical Journal					1								1
	BL08W	High Energy Inelastic Scattering	1997.10	128	20	19	15	13	19	15	16	14	10	18	287
	BL09XU	Nuclear Resonant Scattering	1997.10	110	13	13	15	15	18	16	19	28	14	9	270
	BL10XU	High Pressure Research	1997.10	295	32	28	21	30	29	30	28	23	25	27	568
	BL13XU	Surface and Interface Structure	2001.9	139	27	6	16	21	24	36	27	32	33	24	385
	BL14B2	Engineering Science Research II	2007.9	43	32	36	53	53	61	53	58	66	79	78	612
		Technical Journal				1	1	1					1	2	6
	BL19B2	Engineering Science Research I	2001.11	143	35	53	59	63	65	64	68	60	57	50	717
		Technical Journal				1	1	1	2			2	1	1	9
	BL20B2	Medical and Imaging I	1999.9	182	24	35	28	25	35	26	28	31	25	29	468
	BL20XU	Medical and Imaging II	2001.9	137	27	21	40	45	43	37	34	29	43	25	481
	BL25SU	Soft X-ray Spectroscopy of Solid	1998.4	282	25	22	24	31	20	19	25	20	22	28	518
		Technical Journal				2									2
	BL27SU	Soft X-ray Photochemistry	1998.5	282	31	18	41	35	25	36	27	25	16	35	571
	BL28B2	White Beam X-ray Diffraction	1999.9	95	15	10	21	18	21	19	25	20	11	21	276
	BL35XU	High Resolution Inelastic Scattering	2001.9	75	12	8	14	13	16	15	15	14	8	22	212
	BL37XU	Trace Element Analysis	2002.11	96	23	14	32	28	35	29	29	29	21	22	358
		Technical Journal						1							1
	BL38B1	Structural Biology III	2000.10	329	48	60	59	48	65	60	38	30	31	28	796
	BL39XU	Magnetic Materials	1997.10	173	19	21	20	25	19	24	30	20	18	25	394
	BL40B2	Structural Biology II	1999.9	336	42	44	70	55	55	59	54	55	62	47	879
		Technical Journal					1		1						2
	BL40XU	High Flux	2000.4	89	13	18	37	21	32	42	30	34	43	24	383
		Technical Journal											1		1
BL41XU	Structural Biology I	1997.10	590	66	53	65	55	60	68	57	52	39	36	1141	
BL43IR	Infrared Materials Science	2000.4	69	8	11	10	11	17	15	23	10	19	22	215	
BL46XU	Engineering Science Research III	2000.11	100	22	15	38	28	56	51	49	45	49	28	481	
	Technical Journal								1	1			1	3	
BL47XU	HXPES・MCT	1997.10	227	31	17	36	36	31	29	37	28	27	24	523	
	Technical Journal									1				1	
Public Use at Other Beamlines	BL05XU	RIKEN Diagnosis Beamline I	2017.4									3	6	8	17
	BL11XU	QST Quantum Dynamics I	1999.3	13											13
	BL14B1	QST Quantum Dynamics II	1998.4	44	2	1		1							48
	BL15XU	WEBRAM	2002.9	32	1	1		1							35
	BL17SU	RIKEN Coherent Soft X-ray Spectroscopy	2005.9	8	7	6	11	12	5	2	3	5	8	5	72
	BL19LXU	RIKEN SR Physics	2002.9	5				1	1	2	5	7	2	3	26
	BL22XU	JAEA Actinide Science I	2004.9	5			1								6
	BL23SU	JAEA Actinide Science II	1998.6	46		2	3	2						1	54
	BL26B1	RIKEN Structural Genomics I	2009.4		3	8	2	9	6	15	15	22	28	28	136
	BL26B2	RIKEN Structural Genomics II	2009.4	1		5	3	5	7	11	8	9	8	6	63
		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	15	15	8	10	99
	BL44B2	RIKEN Materials Science	1998.5	14						6	5	2	5	5	37
BL45XU	RIKEN Structural Biology I	1997.10	84	9	6	7	9	13	20	10	6	15	18	197	
Subtotal			5613	807	742	1003	976	1041	1094	1037	975	990	974	15252	

Beamline Name		Public Use Since	~2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Total
BL03XU	Advanced Softmaterials	2009.11	1	5	8	24	21	14	17	23	9	19	14	155
	Technical Journal				35	42	39	36	33	31	28	28		272
BL07LSU	The University-of-Tokyo Outstation Beamline for Materials Science	2009.11	1	5	6	10	13	12	19	19	15	21	11	132
BL08B2	Hyogo Prefecture BM	2005.9	1	1	3	7	9	5	6	11	5	7	8	63
	Technical Journal				7	1	18	7	4	4	1	3		45
BL11XU	QST Quantum Dynamics I		76	6	13	16	14	8	20	20	15	18	10	216
BL12B2	NSRRC BM	2001.9	131	13	25	22	21	29	37	34	36	31	12	391
BL12XU	NSRRC ID	2003.2	46	10	14	11	18	19	18	25	20	20	12	213
BL14B1	QST Quantum Dynamics II		111	16	11	10	15	19	17	23	20	19	23	284
BL15XU	WEBRAM	2001.4	148	51	41	61	57	48	63	57	50	44	44	664
	Technical Journal		2		18	15	14	8	15	21	15	10	7	125
BL16B2	Sunbeam BM	1999.9	45	6	4	3	6	4	10	9	6	10	12	115
	Technical Journal		2		18	15	14	8	15	21	15	10	7	125
BL16XU	Sunbeam ID	1999.9	38	2	2	2	3	4	11	9	9	17	19	116
	Technical Journal				20	19	14	14	21	18	12	8	9	135
BL22XU	JAEA Actinide Science I		61	10	10	14	19	15	14	15	26	23	13	220
BL23SU	JAEA Actinide Science II		153	22	20	17	29	19	26	16	23	22	21	368
BL24XU	Hyogo Prefecture ID	1998.10	131	6	7	8	5	4	5	6	8	2	11	193
	Technical Journal				11	3	10	3	1	4		1	1	34
BL28XU	RISING II	2012.4				3	9	5	5	5	4	8	10	49
	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)		24	3				1						28
BL33LEP	Laser-Electron Photon	2000.10	43	4	4	4	4	2	2	3	5	2		73
BL33XU	Toyota	2009.5		3	5	2	8	4	10	16	6	9	18	81
	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	8	64
BL44XU	Macromolecular Assemblies	2000.2	195	49	59	59	50	64	54	61	47	48	47	733
Subtotal			1205	212	232	274	309	282	344	366	320	330	295	4169

RIKEN Beamlines	BL17SU	Coherent Soft X-ray Spectroscopy		63	10	14	3	8	5	8	5		1	6	123
	BL19LXU	SR Physics		77	9	11	12	13	9	5	6	1	4	1	148
	BL26B1	Structural Genomics I		151	7	8	7	4	5	4	4	1		1	192
	BL26B2	Structural Genomics II		70	18	19	13	4	3	7	10	2	2	1	149
	BL29XU	Coherent X-ray Optics		156	8	16	15	9	10	15	9	8	4	4	254
	BL32XU	Targeted Proteins			2	9	8	8	7	13	4	3	1	2	57
	BL43LXU	Quantum NanoDynamics					1		1	1				2	5
	BL44B2	Materials Science		204	13	13	19	16	20	16	18	14	4	2	339
	BL45XU	Structural Biology I		181	9	9	11	9	13	13	8	3		2	258
	Subtotal			902	76	99	89	71	73	82	64	32	16	21	1525

SACLA

Public Beamlines	Beamline Name		Public Use Since	~2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Total
	BL1	SXFEL	2016.3										7	5	8
BL2/BL3	XFEL2/XFEL1	2012.3			1	13	28	37	47	42	34	44	46	292	

Hardware / Software R & D	452	37	56	67	13	33	46	53	49	34	11	851
---------------------------	-----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

NET Sum Total	7006	961	931	1202	1104	1193	1287	1261	1119	1137	1043	18244
Technical Journal	2	2	89	80	97	67	74	71	54	47	15	598

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。

このデータは論文発表等登録データベース (<https://user.spring8.or.jp/uisearch/publication2/>) に 2020 年 12 月 31 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 (2020年12月31日現在)

SPring-8

Beamline Name		Public Use Since	Refereed Papers	Proceedings	Other Publications	Total		
Public Beamlines	BL01B1	XAFS	1997.10	1224	66	89	1379	
	BL02B1	Single Crystal Structure Analysis	1997.10	482	14	31	527	
	BL02B2	Powder Diffraction	1999.9	1293	41	83	1417	
	BL04B1	High Temperature and High Pressure Research	1997.10	344	7	48	399	
	BL04B2	High Energy X-ray Diffraction	1999.9	551	13	58	622	
	BL08W	High Energy Inelastic Scattering	1997.10	287	10	48	345	
	BL09XU	Nuclear Resonant Scattering	1997.10	270	15	34	319	
	BL10XU	High Pressure Research	1997.10	568	22	61	651	
	BL13XU	Surface and Interface Structure	2001.9	385	19	37	441	
	BL14B2	Engineering Science Research II	2007.9	618	11	37	666	
	BL19B2	Engineering Science Research I	2001.11	726	47	92	865	
	BL20B2	Medical and Imaging I	1999.9	468	88	88	644	
	BL20XU	Medical and Imaging II	2001.9	481	106	138	725	
	BL25SU	Soft X-ray Spectroscopy of Solid	1998.4	520	15	61	596	
	BL27SU	Soft X-ray Photochemistry	1998.5	571	21	38	630	
	BL28B2	White Beam X-ray Diffraction	1999.9	276	16	23	315	
	BL35XU	High Resolution Inelastic Scattering	2001.9	212	5	13	230	
	BL37XU	Trace Element Analysis	2002.11	359	24	51	434	
	BL38B1	Structural Biology III	2000.10	796	11	64	871	
	BL39XU	Magnetic Materials	1997.10	394	17	80	491	
	BL40B2	Structural Biology II	1999.9	881	15	117	1013	
	BL40XU	High Flux	2000.4	384	24	70	478	
	BL41XU	Structural Biology I	1997.10	1141	4	99	1244	
	BL43IR	Infrared Materials Science	2000.4	215	15	60	290	
	BL46XU	Engineering Science Research III	2000.11	484	20	41	545	
	BL47XU	HXPES・MCT	1997.10	524	93	131	748	
	Public Use at Other Beamlines	BL05XU	RIKEN Diagnosis Beamline I	2017.4	17			17
		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	72	1	29	102	
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	54	4	15	73	
BL26B1		RIKEN Structural Genomics I	2009.4	136		8	144	
BL26B2		RIKEN Structural Genomics II	2009.4	64		10	74	
BL29XU		RIKEN Coherent X-ray Optics	2002.9	22		1	23	
BL32XU		RIKEN Targeted Proteins	2010.10	99		4	103	
BL44B2		RIKEN Materials Science	1998.5	37		3	40	
BL45XU		RIKEN Structural Biology I	1997.10	197	5	19	221	
Subtotal			15280	771	1804	17855		

Beamline Name		Public Use Since	Refereed Papers	Proceedings	Other Publications	Total	
Contract Beamlines	BL03XU	Advanced Softmaterials	2009.11	427		14	441
	BL07LSU	The University-of-Tokyo Outstation Beamline for Materials Science	2009.11	132		11	143
	BL08B2	Hyogo Prefecture BM	2005. 9	108			108
	BL11XU	QST Quantum Dynamics I		216	8	37	261
	BL12B2	NSRRC BM	2001. 9	391	1	2	394
	BL12XU	NSRRC ID	2003. 2	213	7	5	225
	BL14B1	QST Quantum Dynamics II		284	12	69	365
	BL15XU	WEBRAM	2001. 4	664	14	59	737
	BL16B2	Sunbeam BM	1999. 9	240	12	75	327
	BL16XU	Sunbeam ID	1999. 9	251	8	60	319
	BL22XU	JAEA Actinide Science I		220	4	43	267
	BL23SU	JAEA Actinide Science II		368	45	109	522
	BL24XU	Hyogo Prefecture ID	1998.10	227	19	61	307
	BL28XU	RISING II	2012. 4	50			50
	BL31LEP	Laser-Electron Photon II	2013.10	11			11
	BL32B2	Pharmaceutical Industry (2002. 9 - 2012. 3)		28		3	31
	BL33LEP	Laser-Electron Photon	2000.10	73	23	3	99
	BL33XU	Toyota	2009. 5	105	5	31	141
	BL36XU	Catalytic Reaction Dynamics for Fuel Cell (2013. 1 - 2020. 3)		64		6	70
	BL44XU	Macromolecular Assemblies	2000. 2	733		43	776
Subtotal			4805	158	631	5594	
RIKEN Beamlines	BL17SU	Coherent Soft X-ray Spectroscopy		123	4	13	140
	BL19LXU	SR Physics		148	8	27	183
	BL26B1	Structural Genomics I		192	2	19	213
	BL26B2	Structural Genomics II		149	1	13	163
	BL29XU	Coherent X-ray Optics		254	14	37	305
	BL32XU	Targeted Proteins		57		3	60
	BL43LXU	Quantum NanoDynamics		5			5
	BL44B2	Materials Science		339	2	16	357
	BL45XU	Structural Biology I		258	5	45	308
	Subtotal			1525	36	173	1734

SACLA

Public Beamlines	Beamline Name		Public Use Since	Refereed Papers	Proceedings	Other Publications	Total
	BL1	SXFEL	2016. 3	20			20
BL2/BL3	XFEL2/XFEL1	2012. 3	292	4	14	310	

Hardware / Software R & D	851	554	468	1873
---------------------------	-----	-----	-----	------

NET Sum Total	18842	1363	2380	22585
---------------	-------	------	------	-------

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。

・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、2020 年 10 月～12 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 2020 年 10 月～12 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
Scientific Reports	9	Journal of Applied Physics	4
Physical Review B	8	Journal of Materials Chemistry A	4
Japanese Journal of Applied Physics	7	Chemical Communications	4
Nature Communications	7	Journal of Physics: Condensed Matter	4
Inorganic Chemistry	5	Physica Status Solidi B	4
The Journal of Physical Chemistry C	5		

他全 136 誌、計 239 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

Scientific Reports

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
40705	Nobuhiko Takeichi	10 (2020) 16918	2017B1013	BL04B2	竹市 信彦	Local Structure and Electrochemical Performances of Sulfurized Polyethylene Glycol after Heat Treatment
40712	Keiichiro Imura	10 (2020) 17116	2017B4261	BL12XU	井村 敬一郎	Concomitant Singularities of Yb-valence and Magnetism at a Critical Lattice Parameter of Icosahedral Quasicrystals and Approximants
			2018B4257	BL12XU	井村 敬一郎	
			2019A4262	BL12XU	井村 敬一郎	
			2019B4251	BL12XU	井村 敬一郎	
40731	Hirokazu Masai	10 (2020) 11615	2016A0130	BL01B1	小原 真司	Photocatalytic Hydrogen Generation of Monolithic Porous Titanium Oxide-Based Glass-Ceramics
			2017B1577	BL14B2	正井 博和	
40758	Takuya Yoshida	10 (2020) 7623	2017A2589	BL38B1	中村 昇太	Structural Basis for PPAR α Activation by 1H-pyrazolo-[3,4-b]pyridine Derivatives
			2018A2553	BL38B1	中村 昇太	
			2019A2570	BL26B1	中村 昇太	
40833	Haruka Sugijura	10 (2020) 18691	2016A2574	BL38B1	橋本 渉	Bacterial Inducible Expression of Plant Cell Wall-binding Protein YesO through Conflict between <i>Glycine max</i> and Saprophytic <i>Bacillus subtilis</i>
			2017A2547	BL26B1	三上 文三	
			2017A2592	BL38B1	橋本 渉	
40935	Hikaru Miyagi	10 (2020) 11669	2013B1092	BL32XU	浅田 秀基	The Discovery of a New Antibody for BRIL-fused GPCR Structure Determination
			2014B1355	BL32XU	浅田 秀基	
			2015A1044	BL32XU	浅田 秀基	
40937	Kentaro Ihara	10 (2020) 19305	2017A8019	BL3	岩田 想	Isoprenoid-chained Lipid EROCO $C_{17:4}$: a New Matrix for Membrane Protein Crystallization and a Crystal Delivery Medium in Serial Femtosecond Crystallography
40963	Hideharu Yukitake	10 (2020) 21109	2014B1478	BL41XU	今田 勝巳	PorA, a Conserved C-terminal Domain-containing Protein, Impacts the PorXY-SigP Signaling of the Type IX Secretion System
			2016A2539	BL41XU	今田 勝巳	
41014	Daiki Shiratori	10 (2020) 21403	2019A1082	BL01B1	正井 博和	Oxidation Suppression of Cu in Alkaline Aluminophosphate Glass and the Effects for Radiation-Induced Luminescence Characteristics
			2019B1562	BL01B1	正井 博和	

Physical Review B

40715	Hitoshi Yamaoka	102 (2020) 155118	2018A4257	BL12XU	山岡 人志	Electronic Structures of Bi $_2$ Se $_3$ and Ag $_x$ Bi $_2$ Se $_3$ under Pressure Studied by High-Resolution X-ray Absorption Spectroscopy and Density Functional Theory Calculations
			2018B4251	BL12XU	山岡 人志	
			2019A4266	BL12XU	山岡 人志	
			2019B4269	BL12XU	山岡 人志	
40759	Risa Miyakaze	102 (2020) 014419	2017B1969	BL25SU	小谷 佳範	Voltage-Controlled Magnetic Anisotropy in an Ultrathin Nickel Film Studied by <i>Operando</i> X-ray Magnetic Circular Dichroism Spectroscopy
			2017B1003	BL25SU	鈴木 義茂	
			2017A1201	BL25SU	三輪 真嗣	
40767	Kohei Yamagami	102 (2020) 165145	2018A7558	BL07LSU	山神 光平	Localized Character of Charge Excitations for La $_{2-x}$ Sr $_x$ NiO $_{4+\delta}$ Revealed by Oxygen <i>K</i> -edge Resonant Inelastic X-ray Scattering
40839	Eiji Nishibori	102 (2020) 201106	2015A1573	BL02B1	関 真一郎	Structural Analysis of High-Pressure Phase for Skyrmion-Hosting Multiferroic Cu $_2$ OsSeO $_3$
			2016A0078	BL02B1	Iversen Bo	
40883	David Billington	102 (2020) 174405	2017B1243	BL25SU	Dugdale Stephen	Bulk and Element-Specific Magnetism of Medium-Entropy and High-Entropy Cantor-Wu Alloys
			2016A0131	BL08W	Duffy Jonathan	
40946	Jie Chen	102 (2020) 184418	2019B4500	BL15XU	山浦 一成	Enhanced Magnetization of the Highest- T_c Ferrimagnetic Oxide Sr $_2$ CrOsO $_6$
			2019A4501	BL15XU	辻本 吉廣	
			2018B4502	BL15XU	Belik Alexei	
40947	Tatsunori Yasuda	102 (2020) 205133	2017B1034	BL09XU	溝川 貴司	Interplay between Electronic Correlation and Atomic Disorder in a Low Carrier Density 4 <i>d</i> Transition-Metal Oxide
			2018A1012	BL09XU	溝川 貴司	
			2019B1574	BL47XU	溝川 貴司	
41037	Satoshi Tsutsui	102 (2020) 245150	2012B1080	BL35XU	光田 暁弘	Lattice Instability Coupled with Valence Degrees of Freedom in Valence Fluctuation Compound YbPd
			2013A1186	BL35XU	光田 暁弘	
			2013B1916	BL35XU	筒井 智嗣	
			2014B1079	BL08W	筒井 智嗣	
			2015A2036	BL35XU	筒井 智嗣	
			2017B1889	BL35XU	筒井 智嗣	
2018B2038	BL35XU	筒井 智嗣				

Japanese Journal of Applied Physics

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
40725	Artoni Kevin R. Ang	59 (2020) 100902	2017B7553	BL07LSU	林 好一	Time-resolved X-ray Photoelectron Diffraction using an Angle-Resolved Time-of-Flight Electron Analyzer
			2017A7529	BL07LSU	林 好一	
			2018A7570	BL07LSU	林 好一	
			2019A7454	BL07LSU	林 好一	
			2019B7463	BL07LSU	林 好一	
2015A7486	BL07LSU	林 好一				
40905	Tatsunori Shibuya	59 (2020) 122004	2018B8042	BL1	錦野 将元	Ablation Threshold and Crater Morphology of Amorphous and Crystalline SiO ₂ Glass for Extreme Ultraviolet Femtosecond Pulses
			2018A8024	BL1	錦野 将元	
40956	Shigeru Sugiyama	59 (2020) 115505	2019A2540	BL41XU	杉山 成	Effect of Ultra-Fine Bubble Water on Protein Crystal Nucleation
			2019A2540	BL45XU	杉山 成	
			2019A6923	BL44XU	杉山 成	
			2019B6923	BL44XU	杉山 成	
40971	Kazuo Tsutsui	59 (2020) 010503	2018A1344	BL25SU	筒井 一生	Analyses of Three-dimensional Atomic Arrangements of Impurities Doped in Si Relating to Electrical Activity by Spectro-Photoelectron Holography
			2018B1217	BL25SU	筒井 一生	
			2019B1301	BL25SU	筒井 一生	
			2016A1261	BL25SU	筒井 一生	
2014B1819	BL25SU	筒井 一生				
40976	Kohtaro Eguchi	59 (2020) SPPD03	2016B3633	BL14B1	永田 肇	The Quenching Effects for Depolarization Temperature of (Bi _{0.5} Na _{0.5})TiO ₃ Ceramics with Mn Dopants
40977	Yuka Takagi	58 (2019) SLLD02	2017B3633	BL14B1	永田 肇	Relation between Lattice Distortion and Depolarization Temperature in Quenched (Bi _{0.5} Na _{0.5})TiO ₃ -(Bi _{0.5} Li _{0.5})TiO ₃ -(Bi _{0.5} K _{0.5})TiO ₃ Ceramics
41018	Shigeru Sugiyama	60 (2021) 015506	2017A2516	BL26B1	杉山 成	Growth of Protein Crystals in High-Strength Hydrogels with the Dialysis Membrane
			2018B6824	BL44XU	杉山 成	
			2019A2509	BL32XU	鈴木 健司	
			2019A2509	BL41XU	鈴木 健司	
			2019A2509	BL45XU	鈴木 健司	
			2019B6923	BL44XU	杉山 成	
			2019A2540	BL45XU	杉山 成	
			2019A2540	BL41XU	杉山 成	
			2020A6522	BL44XU	杉山 成	
2018A2509	BL38B1	杉山 成				

Nature Communications

40681	Kohji Murase	11 (2020) 4916	2019A2568	BL41XU	村瀬 浩司	Mechanism of Self/Nonself-Discrimination in <i>Brassica</i> Self-Incompatibility
			2015A6549	BL44XU	森 智行	
			2015B6549	BL44XU	森 智行	
			2016A2519	BL41XU	平野 良憲	
			2017A6759	BL44XU	森 智行	
			2017B6759	BL44XU	森 智行	
			2018A2529	BL41XU	村瀬 浩司	
40873	Yoshihiko Okamoto	11 (2020) 3144	2017B1394	BL02B1	澤 博	Regular-Triangle Trimer and Charge Order Preserving the Anderson Condition in the Pyrochlore Structure of CsW ₂ O ₆
			2017B1398	BL02B2	澤 博	
40912	Takafumi Yamamoto	11 (2020) 5923	2016B1061	BL02B2	山本 隆文	Strain-Induced Creation and Switching of Anion Vacancy Layers in Perovskite Oxynitrides
			2015B1111	BL02B2	山本 隆文	
40913	Xue Huang	11 (2020) 5241	2019A2533	BL41XU	Wang Yanli	Structural Basis for Two Metal-Ion Catalysis of DNA Cleavage by Cas12c
40933	Rie Umeda	11 (2020) 1606	2015A1057	BL32XU	西澤 知宏	Structural Insights into Tetraspanin CD9 Function
			2016A2527	BL32XU	石谷 隆一郎	
40936	Yuki Shimura	11 (2020) 4160	2017A2524	BL32XU	岩田 想	Structure of an Antagonist-Bound Ghrelin Receptor Reveals Possible Ghrelin Recognition Mode
40968	Yuya Shinohara	11 (2020) 6213	2018B8041	BL3	篠原 佑也	Split-pulse X-ray Photon Correlation Spectroscopy with Seeded X-rays from X-ray Laser to Study Atomic-Level Dynamics
			2019A8043	BL3	篠原 佑也	
			2019B8011	BL3	篠原 佑也	

Inorganic Chemistry-1

40824	Anna Carissa San Esteban	59 (2020) 14847-14851	2018B1296	BL02B2	吉成 信人	Dimensional Structures and Electrocatalytic Activities of Platinum(II)-Palladium(II)-Manganese(II) Coordination Polymers Controlled by Chloride versus Bromide
40825	Sasikam Hanprasit	59 (2020) 15788-15795	2019B1107	BL02B2	吉成 信人	A Dynamic Combinatorial Library of Cyclic Au ₂ Ni ^{II} Complexes with Cysteine/Penicillamine Showing Solvent-Controlled Crystallization
			2019B1108	BL02B1	吉成 信人	

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
40834	Shun Sakaida	59 (2020) 16819-16823	2017A1415	BL13XU	北川 宏	Crystal Size Effect on the Spin-Crossover Behavior of {Fe(py) ₂ [Pt(CN) ₄]} (py = Pyridine) Monitored by Raman Spectroscopy
			2018A1428	BL02B2	大坪 主弥	
			2019A1132	BL02B2	大坪 主弥	
40920	Kazuhiko Mukai	59 (2020) 11113-11121	2019A7037	BL33XU	宇山 健	Revisiting LiCoO ₂ Using a State-of-the-Art <i>In Operando</i> Technique
			2019B7037	BL33XU	宇山 健	
40982	Kazuhiko Mukai	59 (2020) 16882-16892	2019B7037	BL33XU	宇山 健	Operando X-ray Diffraction and Double-Edge X-ray Absorption Spectroscopy Studies on a Perfect Zero-Strain Material

The Journal of Physical Chemistry C

40851	Shun Tsunekawa	124 (2020) 23611-23618	2015B1082	BL01B1	吉田 真明	<i>Operando</i> Observations of a Manganese Oxide Electrocatalyst for Water Oxidation Using Hard/Tender/Soft X-ray Absorption Spectroscopy
			2017B1082	BL01B1	吉田 真明	
			2019A1386	BL01B1	吉田 真明	
40857	Masatsugu Oishi	124 (2020) 24081-24089	2017B1307	BL04B2	大石 昌嗣	Disordered Cubic Spinel Structure in the Delithiated Li ₂ MnO ₃ Revealed by Difference Pair Distribution Function Analysis
			2016B1953	BL04B2	尾原 幸治	
			2018A1172	BL04B2	大石 昌嗣	
40923	Masatomo Sumiya	124 (2020) 25282-25290	2016B3801	BL23SU	吉越 章隆	Dynamic Observation and Theoretical Analysis of Initial O ₂ Molecule Adsorption on Polar and m-Plane Surfaces of GaN
			2017A3801	BL23SU	吉越 章隆	
			2017A3834	BL23SU	角谷 正友	
			2017B3801	BL23SU	吉越 章隆	
			2018A3834	BL23SU	角谷 正友	
2019B3837	BL23SU	角谷 正友				
40943	Takuya Hosokai	124 (2020) 24919-24929	2019B1908	BL19B2	鶴田 諒平	H ₂ O-Induced Crystallization of Organic Luminescent Thin Films by Direct Film Storage in a High Vacuum
41003	Feilure Tuerxun	124 (2020) 28510-28519	2018A1024	BL27SU	内本 喜晴	Effect of Interaction among Magnesium Ions, Anion, and Solvent on Kinetics of the Magnesium Deposition Process
			2018A1025	BL27SU	内本 喜晴	
			2018B1028	BL27SU	内本 喜晴	
			2018B1031	BL27SU	内本 喜晴	
			2019A1021	BL27SU	内本 喜晴	
			2019A1022	BL27SU	内本 喜晴	
			2019B1022	BL27SU	内本 喜晴	
2019B1023	BL27SU	内本 喜晴				

Journal of Applied Physics

40698	Kiyosuke Noguchi	128 (2020) 133107	2017B3202	BL24XU	津坂 佳幸	Enhancement of L-band Optical Absorption in Strained Epitaxial Ge on Si-on-Quartz Wafer: Toward Extended Ge Photodetectors
			2017A3202	BL24XU	津坂 佳幸	
40703	Junichi Nomoto	128 (2020) 145303	2018A3838	BL23SU	野本 淳一	Chemical Trends of <i>n</i> -type Doping of Al, Ga, In, and Ti Donors for ZnO Polycrystalline Films Deposited by Direct-Current Magnetron Sputtering
			2020A1630	BL46XU	野本 淳一	
40734	Hirofumi Suto	128 (2020) 133903	2019B1683	BL25SU	喜々津 哲	Time-resolved Imaging of an Operating Hard-Disk-Drive Write Head using Nano-Beam X-ray Magnetic Circular Dichroism
			2018A1109	BL25SU	喜々津 哲	
			2019B2093	BL25SU	小谷 佳範	
			2017B0921	BL25SU	壬生 攻	
40743	Shinya Ota	127 (2020) 173901	2017B0921	BL01B1	壬生 攻	Extended X-ray Absorption Fine Structure Spectroscopy of Stretched Magnetic Films on Flexible Substrate

Journal of Materials Chemistry A

40823	Kazuki Ueda	8 (2020) 12319-12322	2019A1173	BL40B2	平井 智康	High-performance, Air-stable, <i>n</i> -type Thermoelectric Films from a Water-dispersed Nickel-ethenetetrathiolate Complex and Ethylene Glycol
			2019B1179	BL40B2	平井 智康	
40907	Ning Wang	8 (2020) 11043-11055	2017B1288	BL01B1	青木 芳尚	Mixed Proton-Electron-Oxide Ion Triple Conducting Manganite as an Efficient Cobalt-Free Cathode for Protonic Ceramic Fuel Cells
			2018B1112	BL01B1	青木 芳尚	
40993	Datong Zhang	9 (2021) 406-412	2016B1021	BL37XU	内本 喜晴	Understanding the Reaction Mechanism and Performances of 3d Transition Metal Cathodes for All-solid-state Fluoride Ion Batteries
			2017B1038	BL37XU	内本 喜晴	
41030	Naoki Matsui	8 (2020) 24685-24694	2017B1840	BL19B2	松井 直喜	The Effect of Cation Size on Hydride-ion Conduction in LnSrLiH ₂ O ₂ (Ln = La, Pr, Nd, Sm, Gd) Oxyhydrides
			2018B1724	BL02B2	松井 直喜	

Journal of Physics: Condensed Matter-1

40741	Noriyuki Kataoka	33 (2020) 035501	2019A3844	BL23SU	横谷 尚睦	Soft X-ray Irradiation Induced Metallization of Layered TiNCI
-------	------------------	---------------------	-----------	--------	-------	---

Journal of Physics: Condensed Matter-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
40922	K. Pussi	32 (2020) 485401	2017B1383	BL04B2	Kamali-Moghaddam Saeed	Structural Properties of PbTe Quantum Dots Revealed by High-Energy X-ray Diffraction
40958	Huan Li	32 (2020) 395704	2018B4140	BL12B2	久保園 芳博	Structure and Superconducting Properties of Multiple Phases of $(\text{NH}_3)_x\text{AE}_x\text{FeSe}$ (AE: Ca, Sr and Ba)
			2019A4131	BL12B2	久保園 芳博	
40960	Tong He	32 (2020) 465702	2017B4133	BL12B2	久保園 芳博	Superconductivity in $\text{Bi}_{2-x}\text{Sb}_x\text{Te}_3\text{Se}_y$ ($x = 1.0$ and $y = 2.0$) under Pressure
			2018A4132	BL12B2	久保園 芳博	
			2018B4140	BL12B2	久保園 芳博	
			2019A4131	BL12B2	久保園 芳博	

Physica Status Solidi B

40730	Hirokazu Masai	257 (2020) 2000186	2016A0130	BL04B2	小原 真司	Correlation between Structures and Physical Properties of Binary ZnO-P ₂ O ₅ Glasses
			2018B1239	BL01B1	正井 博和	
40737	Naoto Kitamura	257 (2020) 2000112	2018A1040	BL04B2	井手本 康	Local Structures in Disordered Rocksalt-Type Li ₃ NbO ₄ -Based Positive Electrode Materials for a Lithium-Ion Battery
			2018A1555	BL19B2	井手本 康	
			2019A1137	BL04B2	井手本 康	
			2017B1907	BL14B2	井手本 康	
40846	Shinya Hosokawa	257 (2020) 2000172	2018A1280	BL35XU	細川 伸也	Dynamics of an Anisotropic Metaphosphate LiNaKCsPO ₃ Glass by Inelastic X-Ray Scattering
			2016A1187	BL35XU	細川 伸也	
40847	Jens Rüdiger Stellhorn	257 (2020) 200310	2017A1227	BL39XU	細川 伸也	Local Structure of the Impurity Site in Nd:LaF ₃ by X-Ray Fluorescence Holography
			2018A4134	BL12B2	細川 伸也	

ACS Applied Materials & Interfaces

40826	Naoyuki Shibayama	12 (2020) 50187-50191	2020A1643	BL46XU	柴山 直之	Control of Molecular Orientation of Spiro-OMeTAD on Substrates
			2019A1719	BL46XU	柴山 直之	
			2019A1651	BL14B2	柴山 直之	
			2018B1868	BL46XU	柴山 直之	
			2018B1862	BL19B2	中村 唯我	
			2018B1855	BL46XU	柴山 直之	
			2018B1809	BL19B2	中村 唯我	
40908	Yusaku Magari	12 (2020) 47739-47746	2019B1746	BL47XU	曲 勇作	Record-High-Performance Hydrogenated In-Ga-Zn-O Flexible Schottky Diodes
			2018B1680	BL01B1	曲 勇作	
40967	Keita Sano	12 (2020) 44743-44753	2018B1787	BL14B2	村山 美乃	Optically Transparent Colloidal Dispersion of Titania Nanoparticles Storable for Longer than One Year Prepared by Sol/Gel Progressive Hydrolysis/Condensation

ACS Applied Nano Materials

40683	Taiki Hirakawa	3 (2020) 9097-9107	2019B1909	BL14B2	平川 大希	Multicomponent 3d Transition-Metal Nanoparticles as Catalysts Free of Pd, Pt, or Rh for Automotive Three-Way Catalytic Converters
			2019B1188	BL01B1	大山 順也	
40850	Ke-Hsuan Wang	3 (2020) 9528-9537	2017B1082	BL01B1	吉田 真明	Nanometer-Thick Nickel Oxide Films Prepared from Alanine-Chelated Coordination Complexes for Electrochromic Smart Windows
			2019A1386	BL01B1	吉田 真明	
40914	Takeshi Uyama	3 (2020) 10678-10690	2020A7037	BL33XU	宇山 健	Facile and Low-Temperature Synthesis of $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ Nanoparticles with Thermally Stable Ferrimagnetism for Use in Magnetic Recording Tapes

Acta Materialia

40796	Te-Cheng Su	191 (2020) 24-42	2017B1523	BL20B2	Gourlay Christopher	Rheological Transitions in Semi-Solid Alloys: In-situ Imaging and LBM-DEM Simulations
40955	Yanxu Wang	196 (2020) 565-575	2015B4502	BL15XU	関戸 信彰	Continuous and Discontinuous Yielding Behaviors in Ferrite-Cementite Steels
41032	David Billington	205 (2021) 116517	2015A1326	BL02B2	上野 若菜	Relationship between the Microstructure, Local Magnetism and Coercivity in Ga-containing Nd-Fe-B Sintered Magnets
			2016B1024	BL02B2	廣澤 哲	
			2017A1010	BL02B2	廣澤 哲	
			2018A1009	BL02B2	廣澤 哲	
			2017A1869	BL25SU	小谷 佳範	
			2017B1015	BL25SU	廣澤 哲	
			2018A1014	BL25SU	廣澤 哲	

American Mineralogist-1

40764	Chie Kato	105 (2020) 917-921	2014A0080	BL10XU	廣瀬 敬	Stability of fcc Phase FeH to 137 GPa
-------	-----------	-----------------------	-----------	--------	------	---------------------------------------

American Mineralogist-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
40821	Ryoichi Nakada	105 (2020) 1695-1703	2017B1060	BL05XU	中田 亮一	Vanadium Micro-XANES Determination of Oxygen Fugacity in Olivine-Hosted Glass Inclusion and Groundmass Glasses of Martian Primitive Shergottite Yamato 980459
			2017B1854	BL05XU	中田 亮一	
			2018A1108	BL05XU	中田 亮一	
			2018A1759	BL05XU	中田 亮一	
40832	Yoichi Nakajima	105 (2020) 1752-1755	2018A1236	BL10XU	中島 陽一	New Pressure-induced Phase Transition to Co2Si-type Fe2P
			2019B1253	BL10XU	西 真之	

Chemical Communications

40868	Daisuke Yamaguchi	56 (2020) 9954-9957	2020A2056	BL43IR	池本 夕佳	Thermally Tunable Selective Formation of Self-Assembled Fibers into Two Orthogonal Directions in Oriented Liquid-Crystalline Smectic Templates
40875	Tomiko M. Suzuki	56 (2020) 15008-15011	2018A5371	BL16B2	磯村 典武	Electrochemical CO ₂ Reduction over Nanoparticles Derived from an Oxidized Cu-Ni Intermetallic Alloy
			2018B5371	BL16B2	磯村 典武	
			2018A5070	BL16XU	小坂 悟	
			2018B5070	BL16XU	小坂 悟	
40884	Yuto Suzuki	56 (2020) 13369-13372	2019A1161	BL40XU	久木 一朗	Hydrogen-Bonded Organic Frameworks of Twisted Polycyclic Aromatic Hydrocarbon
			2019B1134	BL40XU	久木 一朗	
			2020A1117	BL02B1	久木 一朗	

ECS Transactions

40886	Tomoya Hara	98 (2020) 125	2017B1311	BL47XU	重川 直輝	Nanostructural Investigation on GaAs/Indium Tin Oxide/Si Junctions for III-V-on-Si Hybrid Multijunction Cells
			2017A1005	BL47XU	重川 直輝	
41001	Gai Ogasawara	98 (2020) 481	2018A1796	BL19B2	横川 凌	Evaluation of Thermal Expansion Coefficient in Ge _{1-x} Sn _x Nanowire Using Reciprocal Space Mapping
			2019A1828	BL19B2	吉岡 和俊	
			2020A1748	BL19B2	吉岡 和俊	
41002	Kazutoshi Yoshioka	98 (2020) 473-480	2019A1773	BL14B2	吉岡 和俊	Evaluation of Temperature and Germanium Concentration Dependence of EXAFS Oscillations in Si-Rich Silicon Germanium Thin Films
			2019B1802	BL14B2	吉岡 和俊	

International Journal of Molecular Sciences

40840	Hyunggu Hahn	21 (2020) 8186	2017B6772	BL44XU	Kim Hyouon Sook	Structural Insight on Functional Regulation of Human MINERVA Protein
			2018A6865	BL44XU	Kim Hyouon Sook	
			2018B6865	BL44XU	Kim Hyouon Sook	
40892	Tadashi Satoh	20 (2019) 2231	2017B6712	BL44XU	加藤 晃一	Molecular and Structural Basis of the Proteasome α Subunit Assembly Mechanism Mediated by the Proteasome-Assembling Chaperone PAC3-PAC4 Heterodimer
			2018A6809	BL44XU	加藤 晃一	
			2018B6809	BL44XU	加藤 晃一	
40895	Saeko Yanaka	21 (2020) 147	2019A6910	BL44XU	加藤 晃一	On-Membrane Dynamic Interplay between Anti-GM1 IgG Antibodies and Complement Component C1q
			2019B6910	BL44XU	加藤 晃一	

The Journal of Physical Chemistry Letters

40795	Shuichi Ogawa	11 (2020) 9159-9164	2015A3802	BL23SU	吉越 章隆	Gas Barrier Properties of Chemical Vapor-Deposited Graphene to Oxygen Imparted with Sub-electronvolt Kinetic Energy
			2015B3801	BL23SU	吉越 章隆	
			2016B3801	BL23SU	吉越 章隆	
			2017A3801	BL23SU	吉越 章隆	
			2017B3801	BL23SU	吉越 章隆	
			2018A3801	BL23SU	吉越 章隆	
			2018B3801	BL23SU	吉越 章隆	
			2019A3801	BL23SU	吉越 章隆	
			2019A3836	BL23SU	小川 修一	
			2019B3801	BL23SU	吉越 章隆	
2020A3801	BL23SU	吉越 章隆				
40931	Bin-Bin Zhang	11 (2020) 2902-2909	2019B1056	BL02B2	Sun Hong-Tao	Antithermal Quenching of Luminescence in Zero-Dimensional Hybrid Metal Halide Solids
41021	Toshio Yamaguchi	12 (2021) 250-256	2012B3623	BL14B1	山口 敏男	Ion Solvation and Water Structure in an Aqueous Sodium Chloride Solution in the Gigapascal Pressure Range

Journal of Synchrotron Radiation-1

40818	Ichiro Inoue	27 (2020) 1720-1724	2018A8040	BL3	井上 伊知郎	Two-color X-ray Free-Electron Laser Consisting of Broadband and Narrowband Beams
			2018B8023	BL3	井上 伊知郎	
			2019A8021	BL3	井上 伊知郎	
41031	Ryo Mashita	28 (2021) 322-326	2017A1202	BL28B2	間下 亮	High-speed Rotating Device for X-ray Tomography with 10 ms Temporal Resolution
			2017B1406	BL28B2	間下 亮	
			2019B1593	BL28B2	間下 亮	

Journal of Synchrotron Radiation-2

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
41034	Marek Brancewicz	28 (2021) 188-195	2015A1129	BL08W	Brancewicz Marek	Electron Momentum Density of Hexagonal Zn Studied by High-resolution Compton Scattering

Journal of the Physical Society of Japan

40891	Shinichi Nakamura	89 (2020) 125001	2019B3583	BL11XU	中村 真一	Synchrotron Mössbauer Diffraction of Natural Iron Fe ₃ BO ₆
			2019A3583	BL11XU	中村 真一	
40928	Shota Nakamura	89 (2020) 024705	2018A4801	BL15XU	佐藤 仁	Heavy Fermion State of YbNi ₂ Si ₃ without Local Inversion Symmetry
			2018A4912	BL15XU	三村 功次郎	
			2018B4902	BL15XU	三村 功次郎	
			2018B4800	BL15XU	佐藤 仁	
40929	Yudai Ohmagari	89 (2020) 093701	2019B4800	BL15XU	佐藤 仁	Quantum Phase Transitions in an Yb-based Semiconductor YbCuS ₂ with an Effective Spin-1/2 Zigzag Chain
			2019B4909	BL15XU	三村 功次郎	

Physical Chemistry Chemical Physics

40757	Andrey S. Tverjanovich	22 (2020) 25560-25573	2017A1067	BL04B2	Bychkov Evgeny	Glassy GaS: Transparent and Unusually Rigid Thin Films for Visible to Mid-IR Memory Applications
40961	Yanan Wang	22 (2020) 23315-23322	2018B4140	BL12B2	久保園 芳博	Superconducting Behavior of BaTi ₂ Bi ₂ O and its Pressure Dependence
			2019A4131	BL12B2	久保園 芳博	
40984	Hirotsuke Matui	22 (2020) 28093-28099	2017B1852	BL37XU	石黒 志	Reversible Structural Transformation and Redox Properties of Cr-Loaded Iron Oxide Dendrites Studied by <i>in situ</i> XANES Spectroscopy
			2015A1125	BL37XU	石黒 志	
			2015A1599	BL37XU	石黒 志	
			2016B1330	BL37XU	唯 美津木	
			2018A1332	BL37XU	松井 公佑	
			2018B1343	BL37XU	石黒 志	

Physical Review Letters

40699	Chuanlong Lin	125 (2020) 155702	2019B1059	BL10XU	Tse John	Temperature- and Rate-Dependent Pathways in Formation of Metastable Silicon Phases under Rapid Decompression
			2019B4267	BL12XU	Tse John	
			2019A4273	BL12XU	Tse John	
40887	Takashi Kono	125 (2020) 216403	2019A1548	BL25SU	木村 昭夫	Visualizing Half-Metallic Bulk Band Structure with Multiple Weyl Cones of the Heusler Ferromagnet
40948	Matthijs Panman	125 (2020) 226001	2016A8037	BL3	Westenhoff Sebastian	Observing the Structural Evolution in the Photodissociation of Diiodomethane with Femtosecond Solution X-Ray Scattering

Protein Science

40709	Yota Fukuda	29 (2020) 1829-1835	2019B6943	BL44XU	福田 庸太	Structure of Cytochrome <i>b</i> ₅ Unique to Tardigrades
40880	Linda Juniar	29 (2020) 2538-2545	2019A6500	BL44XU	山下 栄樹	Structural Basis for Thioredoxin Isoform-Based Fine-Tuning of Ferredoxin-Thioredoxin Reductase Activity
40925	Tadayoshi Kanao	30 (2021) 328-338	2014B2000	BL26B2	金尾 忠芳	Reaction Mechanism of Tetrathionate Hydrolysis Based on the Crystal Structure of Tetrathionate Hydrolase from <i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>
			2015A1041	BL41XU	金尾 忠芳	
			2012A1812	BL41XU	金尾 忠芳	

RSC Advances

40959	Huan Li	10 (2020) 26682-26692	2018B4140	BL12B2	久保園 芳博	A New Protocol for the Preparation of Superconducting KBi ₂
			2019A4131	BL12B2	久保園 芳博	
40989	Yao Xiao	10 (2020) 39875-39880	2017B1037	BL27SU	内本 喜晴	<i>Operando</i> Soft X-ray Absorption Spectroscopic Study on Microporous Carbon-Supported Sulfur Cathodes
			2017A1025	BL27SU	内本 喜晴	
			2018A1025	BL27SU	内本 喜晴	
			2018B1031	BL27SU	内本 喜晴	
			2019A1021	BL27SU	内本 喜晴	
			2019B1023	BL27SU	内本 喜晴	
41026	Kazuhiko Mukai	10 (2020) 44756-44767	2019A7034	BL33XU	野中 敬正	High-pressure Synthesis of ε-FeOOH from β-FeOOH and its Application to the Water Oxidation Catalyst
			2020A7037	BL33XU	宇山 健	

ACS Applied Energy Materials-1

40906	Seongwoo Jeong	3 (2020) 1222-1234	2019A1561	BL37XU	青木 芳尚	Proton Pumping Boosts Energy Conversion in Hydrogen-Permeable Metal-Supported Protonic Fuel Cells
-------	----------------	-----------------------	-----------	--------	-------	---

ACS Applied Energy Materials-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
41035	Chen Liu	4 (2021) 810-818	2016B1517	BL37XU	山本 健太郎	Effect of Temperature on Oxygen Reduction Reaction Kinetics for Pd Core-Pt Shell Catalyst with Different Core Size
			2017A1456	BL37XU	山本 健太郎	
			2017B1043	BL37XU	今井 英人	
			2018A1019	BL37XU	今井 英人	

ACS Catalysis

40940	Congcong Li	10 (2020) 14624-14639	2019B1861	BL14B2	Li Congcong	Hydrodeoxygenation of Guaiacol to Phenol over Ceria-Supported Iron Catalysts
40996	Giorgio Caserta	10 (2020) 13890-13894	2017B1321	BL19LXU	Caserta Giorgio	<i>In Vitro</i> Assembly as a Tool to Investigate Catalytic Intermediates of [NiFe]-Hydrogenase
			2019A1201	BL09XU	Caserta Giorgio	

Acta Crystallographica Section D

40693	Akihito Ikeda	76 (2020) 993-1000	2019B6935	BL44XU	西野 達哉	The Crystal Structure of the Tetrameric Human Vasohibin-1-SVBP Complex Reveals a Variable Arm Region within the Structural Core
40707	Rakesh Maharjan	76 (2020) 521-530	2018B6844	BL44XU	福田 庸太	Crown-ether-mediated Crystal Structures of the Glycosyltransferase PaGT3 from <i>Phytolacca americana</i>

Applied Physics Express

40735	Hirofumi Suto	13 (2020) 043002	2017B0921	BL25SU	壬生 攻	Magnetization Manipulation Induced by Nonlocal Spin Injection from a Perpendicular Spin Polarizer: Nano-Beam X-ray MCD Study using an Order-Sorting-Aperture Collection Method
			2015B0901	BL07LSU	千葉 大地	
40975	Hajime Nagata	13 (2020) 061002	2017A3633	BL14B1	永田 肇	Correlation between Depolarization Temperature and Lattice Distortion in Quenched (Bi _{1/2} Na _{1/2})TiO ₃ -based Ceramics

Applied Physics Letters

40728	Yoko Takeo	117 (2020) 151104	2019B1758	BL25SU	竹尾 陽子	A Highly Efficient Nanofocusing System for Soft X Rays
			2019A2070	BL25SU	仙波 泰徳	
40817	Keiichi Omika	117 (2020) 171605	2016A1523	BL25SU	吹留 博一	Dynamics of Surface Electron Trapping of a GaN-based Transistors Revealed by Spatiotemporally Resolved X-ray Spectroscopy
			2016B1605	BL25SU	吹留 博一	

Carbohydrate Polymers

40952	Noriyuki Isobe	249 (2020) 116843	2019A1213	BL40B2	岩田 忠久	Primary Structure of Gum Arabic and its Dynamics at Oil/Water Interface
			理研	BL45XU		
40954	Noriyuki Isobe	89 (2012) 1298-1300	2010A1595	BL40B2	澤田 大輔	Mechanism of Cellulose Gelation from Aqueous Alkali-Urea Solution

Chemical Science-1

40921	Ayako Fujimoto	11 (2020) 12307-12315	2013A1219	BL02B1	内田 欣吾	Photoinduced Swing of a Diarylethene Thin Broad Sword Shaped Crystal: A Study on the Detailed Mechanism
			2014A1048	BL02B1	内田 欣吾	
			2014B1213	BL40B2	内田 欣吾	
			2015A1240	BL40B2	内田 欣吾	
			2015B1215	BL40B2	内田 欣吾	
			2016A1602	BL40B2	松本 宏紀	
			2017A1084	BL40XU	内田 欣吾	
			2017A1085	BL40B2	内田 欣吾	
			2017A1120	BL40XU	内田 欣吾	
			2017B1134	BL40XU	内田 欣吾	
			2017B1135	BL40B2	内田 欣吾	
			2017B1159	BL40XU	内田 欣吾	
			2018A1104	BL02B1	内田 欣吾	
			2018A1207	BL40B2	内田 欣吾	
			2018A1208	BL40XU	内田 欣吾	
			2018B1091	BL02B1	内田 欣吾	
			2018B1092	BL40XU	内田 欣吾	
			2018B1124	BL40B2	内田 欣吾	
			2018B1674	BL02B1	西村 涼	
			2019A1110	BL40XU	内田 欣吾	
2019A1403	BL40B2	内田 欣吾				
2019A1670	BL02B1	西村 涼				
2019B1077	BL40B2	内田 欣吾				
2020A1072	BL40B2	内田 欣吾				

Chemical Science-2

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
40995	Giorgio Caserta	(2020) Online published 11 Dec. 2020	2017B1321	BL19LXU	Caserta Giorgio	Hydroxy-bridged Resting States of a [NiFe]-Hydrogenase Unraveled by Cryogenic Vibrational Spectroscopy and DFT Computations
			2016B1316	BL19LXU	Lauterbach Lars	
			2017A1115	BL19LXU	Wang Hongxin	

Chemistry Letters

40781	Yuki Hishikawa	49 (2020) 840-844	2016B2718	BL26B1	安部 聡	Design of Multinuclear Gold Binding Site at the Two-fold Symmetric Interface of the Ferritin Cage
			2017A2571	BL26B1	上野 隆史	
			2018A2524	BL26B1	安部 聡	
40807	Taisuke Matsuno	50 (2021) 110-112	2018B1394	BL38B1	佐藤 宗太	A Case Study of Stereoisomerism with [6]Cyclo[4]helicenylenes
			2019B1125	BL26B1	佐藤 宗太	

Crystals

40697	Charith Jayathilaka	10 (2020) 609	2014B1434	BL04B2	Jayathilaka Charith	Enhancement of Solar Cell Performance of Electrodeposited Ti/n-Cu ₂ O/p-Cu ₂ O/Au Homojunction Solar Cells by Interface and Surface Modification
			2017B1539	BL04B2	Jayathilaka Charith	
40836	Shunsuke Kitou	10 (2020) 998	2009A0083	BL02B1	澤 博	Direct Observation of Molecular Orbitals Using Synchrotron X-ray Diffraction
			2019A0070	BL02B1	澤 博	

The FEBS Journal

40806	Sung-Min Kang	(2020) First published 8 Aug. 2020	2019B6972	BL44XU	Lee Bong Jin	Structure-based Design of Peptides that Trigger <i>Streptococcus pneumoniae</i> Cell Death
40980	Masayuki Miyake	287 (2020) 5114-5129	2014B2015	BL26B1	伏信 進矢	Structural Analysis of β -L-arabinobiose-binding Protein in the Metabolic Pathway of Hydroxyproline-rich Glycoproteins in <i>Bifidobacterium longum</i>
			2016B2714	BL26B1	伏信 進矢	
			2017A2540	BL26B1	伏信 進矢	
			2018A2528	BL26B2	伏信 進矢	

iScience

40766	Min Fey Chek	23 (2020) 101084	2015A1086	BL41XU	森 智行	Asymmetric Open-Closed Dimer Mechanism of Polyhydroxyalkanoate Synthase PhaC
			2015A6549	BL44XU	森 智行	
			2015B6549	BL44XU	森 智行	
			2016A2510	BL41XU	森 智行	
			2016A2519	BL41XU	平野 良憲	
			2016A6648	BL45XU	森 智行	
			2016B6648	BL45XU	森 智行	
			2017A2502	BL41XU	森 智行	
			2017A6759	BL44XU	森 智行	
			2017B6759	BL44XU	森 智行	
			2018A2529	BL41XU	村瀬 浩司	
			2018A2540	BL41XU	平野 良憲	
			2018A6855	BL44XU	森 智行	
			2018A2503	BL32XU	森 智行	
			2018B6855	BL44XU	森 智行	
			2019A2516	BL41XU	森 智行	
			2019A2576	BL45XU	平野 良憲	
2019A6955	BL44XU	森 智行				
2019B6955	BL44XU	森 智行				
2019B2727	BL41XU	Chek Min Fey				
40870	Shotaro Kamata	23 (2020) 101727	2020A2582	BL45XU	大山 拓次	PPAR α Ligand-Binding Domain Structures with Endogenous Fatty Acids and Fibrates
			2018A2558	BL38B1	大山 拓次	
			2017A2530	BL26B1	大山 拓次	

ISJ International

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
41008	Hideyuki Yasuda	60 (2020) 2755-2764	2017B1416	BL20XU	安田 秀幸	Transformation from Ferrite to Austenite during/after Solidification in Peritectic Steel Systems: an X-ray Imaging Study
			2018A1340	BL20XU	安田 秀幸	
			2018B1521	BL20XU	安田 秀幸	
			2019B1482	BL47XU	安田 秀幸	
			2019B1478	BL20XU	安田 秀幸	
			2018A1380	BL20XU	安田 秀幸	
			2017B1463	BL20XU	安田 秀幸	
			2019A1553	BL20B2	杉山 明	
41012	Tomohiro Nishimura	60 (2020) 930-938	2018A1322	BL20B2	杉山 明	Time-resolved and <i>In-situ</i> Observation of δ - γ Transformation during Unidirectional Solidification in Fe-C Alloys
			2018A1380	BL20XU	安田 秀幸	
			2017A1337	BL20XU	安田 秀幸	
			2016B1458	BL20XU	安田 秀幸	
			2017B1466	BL20B2	杉山 明	

Journal of Medicinal Chemistry

40726	Satoshi Endo	63 (2020) 10396-10411	2018B2710	BL41XU	入江 克雅	Development of Novel AKR1C3 Inhibitors as New Potential Treatment for Castration-Resistant Prostate Cancer
40981	Shan-Meng Lin	63 (2020) 3131-3141	2016B6600	BL44XU	Chen Chun Jung	Structure-Based Stabilization of Non-native Protein-Protein Interactions of Coronavirus Nucleocapsid Proteins in Antiviral Drug Design
			2017A6600	BL44XU	Chen Chun Jung	
			2017B6600	BL44XU	Chen Chun Jung	
			2018A6600	BL44XU	Chen Chun Jung	
			2018B6600	BL44XU	Chen Chun Jung	
			2019A6600	BL44XU	Chen Chun Jung	
2019B6600	BL44XU	Chen Chun Jung				

Journal of Solid State Chemistry

40858	Fumito Fujishiro	283 (2020) 121152	2017B1437	BL01B1	大石 昌嗣	Relationship between Oxygen Desorption and the Reduction Features of Mn and Fe in Perovskite-type $\text{SrFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_{3-\delta}$
40962	Anucha Koedtruad	286 (2020) 121263	2019B1291	BL02B2	Amano-Patino Midori	Crystal Structures and Ionic Conductivity in Li_2OHX (X = Cl, Br) Antiperovskites
			2019B1757	BL02B2	譚 振宏	
			2018B1710	BL02B2	Koedtruad Anucha	

Journal of the American Ceramic Society

40694	Nico Gaida	104 (2021) 635-644	2019A0069	BL04B1	河野 義生	Elasticity of Nanocrystalline Kyanite at High Pressure and Temperature from Ultrasonic and Synchrotron X-ray Techniques
40729	Kosei Osada	103 (2020) 6755-6763	2019B1115	BL04B1	大内 智博	Transition in Deformation Mechanism of Aluminosilicate Glass at High Pressure and Room Temperature

Journal of the American Chemical Society

40692	Daiya Kobayashi	142 (2020) 17250-17254	2018A1376	BL02B2	小林 浩和	Significant Enhancement of Hydrogen Evolution Reaction Activity by Negatively Charged Pt through Light Doping of W
			2018B1501	BL02B2	小林 浩和	
			2019A1232	BL02B2	小林 浩和	
			2019B1468	BL02B2	小林 浩和	
40845	Toshihiro Okamoto	142 (2020) 14974-14984	2017B1049	BL02B1	竹谷 純一	Alkyl-Substituted Selenium-Bridged V-Shaped Organic Semiconductors Exhibiting High Hole Mobility and Unusual Aggregation Behavior
			理研	BL44B2		

Journal of the Ceramic Society of Japan

40950	Hirokazu Masai	128 (2020) 1038-1044	2015A1313	BL04B2	正井 博和	Relationship between the First Sharp Diffraction Peak and Physical Properties of Silicon Dioxide (SiO_2) Glasses Possessing Different Fictive Temperatures
40951	Kenji Shinozaki	128 (2020) 1030-1037	2017A1519	BL04B2	篠崎 健二	Photoluminescence and Structural Similarity of Crystals with Oxide-Fluoride Stacking Structure and Oxyfluoride Glass
			2017B1008	BL14B2	篠崎 健二	
			2016B1823	BL14B2	篠崎 健二	

Journal of the Electrochemical Society

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
40738	Naoya Ishida	167 (2020) 100547	2016B1859	BL19B2	井手本 康	Crystal Structures and Cathode Properties of Chemically and Electrochemically Delithiated $\text{Li}_x\text{Ni}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{O}_2$ with Applications to Mg Rechargeable Batteries
			2017A1578	BL19B2	井手本 康	
			2016B1852	BL14B2	井手本 康	
			2017A1573	BL14B2	井手本 康	
40983	Jun Maruyama	167 (2020) 160520	2017A1551	BL14B2	丸山 純	Double Coating of Iron-Containing Carbonaceous Thin Film for Enhanced Bifunctional Catalysis for Use in Air Electrodes

Macromolecules

40938	Hiroki Hamamoto	54 (2021) 488-498	2013B1071	BL40B2	山本 勝宏	Analysis of Homopolymer Distribution in a Polymer Blend Thin Film by Anomalous Grazing Incidence Small-Angle X-ray Scattering at the Bromine K-Edge
			2017A7213	BL03XU	宮崎 司	
			2017B7265	BL03XU	宮崎 司	
			2018A7215	BL03XU	宮崎 司	
40970	Nattanee Dechnarong	53 (2020) 8901-8909	2019A7235	BL03XU	山本 勝宏	<i>In Situ</i> Synchrotron Radiation X-ray Scattering Investigation of a Microphase-Separated Structure of Thermoplastic Elastomers under Uniaxial and Equi-Biaxial Deformation Modes
			2018B1035	BL40XU	高原 淳	
			2019A1015	BL40XU	高原 淳	
			2019B1011	BL40XU	高原 淳	
			2020A1007	BL40XU	高原 淳	

Materials Transactions

40985	Nobuhisa Fujita	(2020) Online publication Dec. 4, 2020	2015A4901	BL15XU	藤田 伸尚	A Unified Geometrical Framework for Face-Centered Icosahedral Approximants in Al-Pd-TM (TM = Transition Metal) Systems
			2016A4900	BL15XU	藤田 伸尚	
			2017A4901	BL15XU	藤田 伸尚	
41013	Keita Nakano	61 (2020) 596-604	2019A1393	BL20B2	安田 秀幸	Characterization of Growing Dendrites in CrMnFeCoNi High-Entropy Alloy by Time-Resolved and <i>In-Situ</i> Tomography
			2017B1520	BL28B2	安田 秀幸	
			2017A1337	BL20XU	安田 秀幸	

Molecules

40794	Siti Nor Hasmah Ishak	25 (2020) 3430	2017B6774	BL44XU	Raja Abd Rahman Raja Noor Zaliha	Ion-Pair Interaction and Hydrogen Bonds as Main Features of Protein Thermostability in Mutated T1 Recombinant Lipase Originating from <i>Geobacillus zalihae</i>
40872	Kengoh Nakanishi	25 (2020) 5253	2017A1707	BL19B2	仲西 賢剛	Mixing Ratio and Cooling Rate Dependence of Molecular Compound Formation in OPO/POP Binary Mixture

Physical Review Research

40756	Ryota Shimizu	2 (2020) 033467	2017B1319	BL13XU	清水 亮太	Polarity Reversal of the Charge Carrier in Tetragonal TiH_x ($x = 1.6 - 2.0$) at Low Temperatures
40835	Akihiko Ikeda	2 (2020) 043175	2019A8017	BL2	松田 康弘	Single Shot X-ray Diffractometry in SACLA with Pulsed Magnetic Fields up to 16 T

Polymer

40848	Yuta Chonan	213 (2021) 123201	2012A1107	BL40B2	松葉 豪	Crystal Morphology of Polyurea on Rapid Quenching
			2012B1701	BL40B2	辺見 幸大	
			2017B1108	BL40B2	松葉 豪	
			2018A1179	BL43IR	松葉 豪	
			2018B1156	BL43IR	松葉 豪	
			2019A1185	BL43IR	松葉 豪	
			2019B1066	BL43IR	松葉 豪	
2015A1237	BL45XU	松葉 豪				
40972	Hidekazu Tanaka	213 (2021) 123213	2018A1080	BL40B2	上原 宏樹	<i>In-situ</i> Analysis for Melt-Drawing Behavior of Ultra-High Molecular Weight Polyethylene / Normal Molecular Weight Polyethylene Blend Films

Solid State Ionics

40685	Xiao Gao	357 (2020) 115456	2018B1034	BL40B2	内本 喜晴	Substrate-Dependent Proton Transport and Nanostructural Orientation of Perfluorosulfonic Acid Polymer Thin Films on Pt and Carbon Substrate
			2019A1025	BL40B2	内本 喜晴	
			2019B1023	BL27SU	内本 喜晴	
			2019B1024	BL40B2	内本 喜晴	
40739	Naoya Ishida	354 (2020) 115413	2018A1555	BL19B2	井手本 康	Synthesis, Cathode Property and Crystal, Electronic and Local Structures of $\text{Mg}_2\text{Mo}_3\text{O}_8$ as Mg Rechargeable Battery Cathode Material
			2018B1777	BL19B2	井手本 康	
			2018A1577	BL14B2	井手本 康	
			2018A1040	BL04B2	井手本 康	

Structure

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
40792	Takefumi Yamashita	27 (2019) 519-527	2018A6850	BL44XU	溝端 栄一	Affinity Improvement of a Cancer-Targeted Antibody through Alanine-Induced Adjustment of Antigen-Antibody Interface
			2013A6854	BL44XU	溝端 栄一	
			2011A1394	BL32XU	溝端 栄一	
			2010B1512	BL38B1	溝端 栄一	
40932	Hidetsugu Asada	28 (2020) 418-425	2013B1092	BL32XU	浅田 秀基	The Crystal Structure of Angiotensin II Type 2 Receptor with Endogenous Peptide Hormone
			2014B1355	BL32XU	浅田 秀基	
			2015A1044	BL32XU	浅田 秀基	

ACS Applied Bio Materials

40831	Tomoki Nishimura	3 (2020) 8865-8871	2019B1104	BL40B2	西村 智貴	Biocatalytic Hybrid Films Self-Assembled from Carbohydrate Block Copolymers and Polysaccharides for Enzyme Prodrug Therapy
			2019B1105	BL40B2	西村 智貴	
			2019A7235	BL03XU	山本 勝宏	

ACS Earth and Space Chemistry

40987	Nozomi Kondo	4 (2020) 2281-2288	2019A1510	BL04B2	近藤 望	Interaction between Cerium and H ₂ O in Hydrated Rhyolitic Melts
			2019A2058	BL04B2	尾原 幸治	

ACS Energy Letters

40762	Hiroo Onuma	5 (2020) 2849-2857	2017B1585	BL46XU	駒場 慎一	Application of Ionic Liquid as K-Ion Electrolyte of Graphite//K ₂ Mn[Fe(CN) ₆] Cell
			2016A1536	BL46XU	駒場 慎一	

ACS Omega

41017	Yuto Ochiai	5 (2020) 33461-33469	2018A1794	BL46XU	落合 優登	The Effect of Alkyl Chain Length on Well-Defined Fluoro-Arylated Polythiophenes for Temperature-Dependent Morphological Transitions
-------	-------------	-------------------------	-----------	--------	-------	---

ACS Sustainable Chemistry & Engineering

40964	Jun-ichi Nishigaki	8 (2020) 10413-10422	2018B1787	BL14B2	村山 美乃	Oxidation of β-Nicotinamide Adenine Dinucleotide (NADH) by Au Cluster and Nanoparticle Catalysts Aiming for Coenzyme Regeneration in Enzymatic Glucose Oxidation
-------	--------------------	-------------------------	-----------	--------	-------	--

Acta Crystallographica Section F

41029	Yuki Nakamura	76 (2020) 616-622	2016B1970	BL41XU	水野 伸宏	Computer-controlled Liquid-nitrogen Drizzling Device for Removing Frost from Cryopreserved Crystals
			2017A2555	BL26B1	高島 成二	
			2019A2548	BL45XU	馬場 清喜	

Advances in Physics: X

40803	Hironobu Fukuzawa	5 (2020) 1785327	2012A8036	BL3	上田 潔	X-ray Induced Ultrafast Dynamics in Atoms, Molecules, and Clusters: Experimental Studies at an X-ray Free-Electron Laser Facility SACLA and Modelling
			2012B8045	BL3	上田 潔	
			2013B8058	BL3	上田 潔	
			2014A8040	BL3	上田 潔	
			2014B8057	BL3	上田 潔	
			2015A8056	BL3	上田 潔	
			2015B8057	BL3	上田 潔	
			2018A8038	BL3	上田 潔	
			2019A8045	BL3	福澤 宏宣	
2019B8035	BL3	福澤 宏宣				

Angewandte Chemie International Edition

40998	Yuki Shinno	59 (2020) 20099-20103	2018A0155	BL04B2	脇原 徹	Toward Efficient Synthesis of Chiral Zeolites: A Rational Strategy for Fluoride-Free Synthesis of STW-Type Zeolite
-------	-------------	--------------------------	-----------	--------	------	--

Applied and Environmental Microbiology

40791	Misugi Uraji	84 (2018) e02300-17	2017B6754	BL44XU	溝端 栄一	Loop of <i>Streptomyces</i> Feruloyl Esterase Plays an Important Role in the Enzyme's Catalyzing the Release of Ferulic Acid from Biomass
-------	--------------	------------------------	-----------	--------	-------	---

Applied Catalysis A: General

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
40965	Ayako Tatekoshi	585 (2019) 117169	2018B1787	BL14B2	村山 美乃	Oxidative Esterification of Aliphatic Aldehydes and Alcohols with Ethanol over Gold Nanoparticle Catalysts in Batch and Continuous Flow Reactors

Applied Sciences

40879	Yohei Uemura	10 (2020) 7818	2017B8020	BL3	朝倉 清高	Tracking the Local Structure Change during the Photoabsorption Processes of Photocatalysts by the Ultrafast Pump-Probe XAFS Method
			2017A8058	BL3	朝倉 清高	
			2015A8039	BL3	朝倉 清高	
			2016B8007	BL3	朝倉 清高	
			2014B8044	BL3	朝倉 清高	

Applied Surface Science

40678	Okkyun Seo	533 (2020) 147432	2017A4902	BL15XU	松田 晃史	Modifying the Crystal Structures of Fe ₂ O ₃ -doped NiO Epitaxial Thin Films Grown at Room Temperature by Controlling the Oxygen Partial Pressure
			2018A4900	BL15XU	松田 晃史	
			2018B4905	BL15XU	松田 晃史	
			2019A4904	BL15XU	唐 佳藝	
			2019B4900	BL15XU	唐 佳藝	
			2019B4902	BL15XU	松田 晃史	
			2018B4904	BL15XU	唐 佳藝	

Batteries and Supercaps

41007	Kazuhiro Hikima	(2020) Online publication 17 Nov. 2020	2012B1286	BL13XU	菅野 了次	Influence of Chemical Composition and Domain Morphology of Li ₂ MnO ₃ on Battery Properties
			2012A1615	BL46XU	菅野 了次	
			2013A3617	BL14B1	菅野 了次	
			2013B1530	BL46XU	菅野 了次	
			2014A1573	BL46XU	菅野 了次	
			2014B3623	BL14B1	菅野 了次	
			2015A1846	BL46XU	引間 和浩	
			2015A1574	BL13XU	菅野 了次	
			2015A3623	BL14B1	菅野 了次	
			2016A1675	BL46XU	引間 和浩	
2016B1768	BL46XU	引間 和浩				

Biochemical and Biophysical Research Communications

40986	Chiharu Sano	534 (2021) 286-291	2015A1073	BL38B1	日弁 隆雄	Mutagenesis and Structure-based Analysis of the Role of Tryptophan525 of γ -glutamyltranspeptidase from <i>Pseudomonas nitroreducens</i>
			2016B2705	BL38B1	日弁 隆雄	
			2017B2736	BL38B1	日弁 隆雄	

Biochemistry

40708	Rakesh Maharjan	59 (2020) 2551-2561	2018A6844	BL44XU	福田 庸太	An Ambidextrous Polyphenol Glycosyltransferase PaGT2 from <i>Phytolacca americana</i>
			2018B6844	BL44XU	福田 庸太	
			2017A6745	BL44XU	福田 庸太	
			2017B6745	BL44XU	福田 庸太	

Cellulose

40953	Noriyuki Isobe	21 (2014) 1043-1050	2010A1595	BL40B2	澤田 大輔	Origin of Hydrophilicity of Cellulose Hydrogel from Aqueous LiOH/Urea Solvent Coagulated with Alkyl Alcohols
-------	----------------	---------------------	-----------	--------	-------	--

ChemElectroChem

40910	Yadan Ren	8 (2021) 70-76	2017B1918	BL19B2	内山 智貴	The Effect of Cation Mixing in LiNiO ₂ toward the Oxygen Evolution Reaction
			2017B1919	BL14B2	内山 智貴	
			2017B1555	BL37XU	内山 智貴	
			2017B1451	BL02B2	内山 智貴	
			2018A1592	BL19B2	内山 智貴	
			2019A1796	BL19B2	松永 利之	
			2019A1812	BL19B2	松永 利之	

Chemisphere

40974	Kouhei Tokunaga	266 (2021) 129104	2019A1138	BL01B1	徳永 紘平	Effective Removal of Iodate by Coprecipitation with Barite: Behavior and Mechanism
-------	-----------------	-------------------	-----------	--------	-------	--

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
41016	Yuto Suzuki	26 (2020) 17056-17062	2018B1244	BL40XU	久木 一朗	Triaxially Woven Hydrogen-Bonded Chicken Wires of a Tetrakis(carboxybiphenyl)ethene
			2019A1161	BL40XU	久木 一朗	
			2019A1192	BL02B1	久木 一朗	

Chemistry - An Asian Journal

40997	Naomichi Hikichi	15 (2020) 2029-2034	2018A0155	BL04B2	脇原 徹	Superior Ion-exchange Property of Amorphous Aluminosilicates Prepared by a Co-precipitation Method
-------	------------------	------------------------	-----------	--------	------	--

Chemistry of Materials

40763	Kei Kubota	32 (2020) 2961-2977	2013B1745	BL04B2	駒場 慎一	Structural Analysis of Sucrose-Derived Hard Carbon and Correlation with the Electrochemical Properties for Lithium, Sodium, and Potassium Insertion
-------	------------	------------------------	-----------	--------	-------	---

ChemistryOpen

40742	Mina Sakuragi	9 (2020) 953-958	2018A1367	BL40XU	櫻木 美菜	Penetration Process of a Hydrated Deep Eutectic Solvent Through the Stratum Corneum and its Application as a Protein Penetration Enhancer
			2019A1225	BL40B2	櫻木 美菜	

ChemNanoMat

40934	Yuya Tanimura	6 (2020) 1635-1640	2019A1225	BL40B2	櫻木 美菜	Self-assembly of Soluble Nanoarchitecture using Hybrids of Diblock Copolypeptide Amphiphiles with Copper Rubinate Hydrates in Water and Their Electrooxidation Reaction
-------	---------------	-----------------------	-----------	--------	-------	---

ChemSusChem

40885	Donglin Han	14 (2020) 614-623	2019A5330	BL16B2	後藤 和宏	Proton Conductive BaZr _{0.8-x} Ce _x Y _{0.2} O _{3-δ} : Influence of NiO Sintering Additive on Crystal Structure, Hydration Behavior, and Conduction Properties
-------	-------------	----------------------	-----------	--------	-------	---

CrystEngComm

40856	Okky D. Putra	22 (2020) 7272-7279	2016B4904	BL15XU	植草 秀裕	Structural Origin of Physicochemical Properties Differences upon Dehydration and Polymorphic Transformation of Ciprofloxacin Hydrochloride Revealed by Structure Determination from Powder X-ray Diffraction Data
-------	---------------	------------------------	-----------	--------	-------	---

Electrochemistry

40828	Kazuhide Kamiya	88 (2020) 486-496	2015B1174	BL01B1	神谷 和秀	Development of Robust Electrocatalysts Comprising Single-atom Sites with Designed Coordination Environments
			2016A1464	BL01B1	神谷 和秀	
			2017A1790	BL14B2	岩瀬 和至	
			2018A1349	BL01B1	原田 隆史	
			2019A1394	BL01B1	神谷 和秀	
			2019B1159	BL01B1	神谷 和秀	

Electrochimica Acta

40800	Benoît Denis Louis Campéon	363 (2020) 137257	2019A1778	BL46XU	Campeon Benoit	Sophisticated rGO Synthesis and Pre-Lithiation Unlocking Full-Cell Lithium-Ion Battery High-Rate Performances
-------	----------------------------	----------------------	-----------	--------	----------------	---

Geophysical Research Letters

40815	Masayuki Nishi	47 (2020) e2020GL089616	2019B1253	BL10XU	西 真之	Chemical Reaction Between Metallic Iron and a Limited Water Supply Under Pressure: Implications for Water Behavior at the Core-Mantle Boundary
-------	----------------	----------------------------	-----------	--------	------	--

Inorganics

40939	Masahiro Tsukao	7 (2019) 109	2018A1167	BL40XU	笹森 貴裕	Propeller-Shaped Aluminum Complexes with an Azaperylene Core in the Ligands
			2018B1668	BL02B1	菅原 知敏	
			2019A1677	BL02B1	鈴木 文陽	
			2019A1057	BL02B1	笹森 貴裕	
			2017B1179	BL40XU	笹森 貴裕	

International Journal of Electrochemical Science

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
40689	Chia-Chin Chang	13 (2018) 11762-11776	2015A4133	BL12B2	Chang Chia-Chin	Nano-sized Tin Oxide-Modified Graphite Composite as Efficient Anode Material for Lithium Ion Batteries

International Journal of Fatigue

40874	Shoichi Kikuchi	127 (2019) 222-228	2017B1639	BL46XU	中井 善一	Effect of Bimodal Harmonic Structure on Fatigue Properties of Austenitic Stainless Steel under Axial Loading
-------	-----------------	-----------------------	-----------	--------	-------	--

International Journal of Hydrogen Energy

40897	Hiroyuki Saitoh	45 (2020) 33675-33680	2014A3614	BL14B1	松尾 元彰	Hydrogenation Reaction of Co ₃ Ti Alloy under High Pressure and High Temperature
			2015A3602	BL14B1	齋藤 寛之	
			2015B3602	BL14B1	齋藤 寛之	

International Journal of Microgravity Science and Application

40830	Yukio Morimoto	37 (2020) 370404	2017A6760	BL44XU	森本 幸生	Crystal Structure Analysis of the 20S Proteasome Grown in Space: Comparison between Space and Ground Crystals
			2017B6760	BL44XU	森本 幸生	
			2018A6856	BL44XU	森本 幸生	
			2018B6856	BL44XU	森本 幸生	
			2019A6956	BL44XU	森本 幸生	
			2019B6956	BL44XU	森本 幸生	

International Journal of Pharmaceutics

40876	Tomonobu Uchino	592 (2021) 120004	2018A1140	BL40B2	内野 智信	Development of Novel Polyglycerol Fatty Acid Ester-based Nanoparticles for the Dermal Delivery of Tocopherol Acetate
			2017A1160	BL40B2	内野 智信	
			2017A1348	BL40B2	内野 智信	

IOP Conference Series: Materials Science and Engineering

41011	Hideyuki Yasuda	861 (2020) 012051	2018B1521	BL20XU	安田 秀幸	In situ Observation of Austenite Coarsening Induced by Massive-like Transformation during Solidification in Fe-C Alloys
			2017B1416	BL20XU	安田 秀幸	
			2018A1380	BL20XU	安田 秀幸	
			2016B1458	BL20XU	安田 秀幸	
			2017B1463	BL20XU	安田 秀幸	
			2019A1400	BL20XU	安田 秀幸	

IUCrJ

40804	Kyu-Yeon Lee	7 (2020) 509-521	2017B6773	BL44XU	Lee Bong Jin	A Structural Study of TatD from <i>Staphylococcus aureus</i> Elucidates a Putative DNA-binding Mode of a Mg ²⁺ -dependent Nuclease
-------	--------------	---------------------	-----------	--------	--------------	---

Journal of Alloys and Compounds

40711	Takashi Takeda	850 (2021) 156358	2016A1561	BL14B2	武田 隆史	Powder Synthesis and Luminescence Properties of Green Emitting Ba ₂ LiSi _{7-x} Al _x N _{12-x} O _x :Eu ²⁺ Phosphor
-------	----------------	----------------------	-----------	--------	-------	--

The Journal of Biochemistry

40882	Takao Hibi	(2020) Online publication 1 Oct. 2020	2015A1073	BL38B1	日弁 隆雄	Identification of Quasi-Stable Water Molecules Near the Thr73-Lys13 Catalytic Diad of <i>Bacillus</i> sp. TB-90 Urate Oxidase by X-ray Crystallography with Controlled Humidity
			2016B2705	BL38B1	日弁 隆雄	
			2019B2728	BL26B1	日弁 隆雄	
			2017B2736	BL26B1	日弁 隆雄	

Journal of Catalysis

40966	Mingyue Lin	389 (2020) 9-18	2018B1787	BL14B2	村山 美乃	Ligand Effect of Gold Colloid in the Preparation of Au/Nb ₂ O ₅ for CO Oxidation
-------	-------------	--------------------	-----------	--------	-------	--

Journal of Crystal Growth

41036	Jumpei Yamada	555 (2021) 125969	2019B3587	BL11XU	成塚 重弥	Effect of Crystallization of Ni Catalyst on Direct Precipitation of Multilayer Graphene using W Capping Layer
			2020A3587	BL11XU	成塚 重弥	

Journal of Environmental Protection

40713	Takanori Miyake	11 (2020) 807-820	2015B1634	BL14B2	三宅 孝典	X-Ray Absorption Spectroscopy Analysis of Lead Species Adsorbed on Various Oxides from High pH Solution
-------	-----------------	----------------------	-----------	--------	-------	---

Journal of Luminescence

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
40866	Hirokazu Masai	207 (2019) 316-320	2016A0130	BL01B1	小原 真司	Temperature-Dependent Luminescence of Ce-doped SrO-B ₂ O ₃ Glasses

Journal of Non-Crystalline Solids

40727	Yoshihiro Okamoto	551 (2021) 120393	2016B3505	BL11XU	岡本 芳浩	XAFS Analysis of Ruthenium in Simulated Iron Phosphate Radioactive Waste Glass
			2017A3505	BL11XU	岡本 芳浩	

Journal of Nuclear Science and Technology

41000	Tatsuya Fukuda	(2020) Published online 15 Oct. 2020	2019A1682	BL01B1	福田 達弥	Mechanistic Study on the Removal of Cs from Contaminated Soil by Rapid Ion Exchange in Subcritical Water
			2019A1683	BL04B2	福田 達弥	
			2019B1767	BL04B2	福田 達弥	

Journal of Oleo Science

40798	Hiroshi Takahashi	69 (2020) 1307-1315	2016B1577	BL43IR	高橋 浩	Release of Ceramide Molecules from Ceramide-Containing UV-curable Acrylic Adhesive Gel Sheet Affixed to Human Skin
			2016A1511	BL43IR	高橋 浩	
			2015B1581	BL43IR	高橋 浩	

Journal of Photopolymer Science and Technology

40760	Ruito Hashimoto	33 (2020) 505-516	2017B1643	BL19B2	若宮 淳志	Hole-Transporting Polymers Containing Partially Oxygen-Bridged Triphenylamine Units and Their Application for Perovskite Solar Cells
			2017B1834	BL19B2	若宮 淳志	
			2019A1804	BL46XU	中村 智也	

The Journal of Physical Chemistry B

40797	Ayumi Yamakawa	124 (2020) 9275-9282	2018A1250	BL37XU	瀧上 隆智	Condensed Film Formation and Molecular Packing in Cationic Surfactant-Cholesterol and Zwitterionic Surfactant-Cholesterol Systems at the Hexane/Water Interface
			2019A1171	BL37XU	瀧上 隆智	

Journal of Physics and Chemistry of Solids

41024	Haruhiro Hiraka	150 (2021) 109870	2010A3615	BL14B1	平賀 晴弘	Local Ir Dedimerization Followed by Ligand-Hole Hopping in X-ray Irradiated Thiospinel
			2010B3618	BL14B1	平賀 晴弘	
			2012B3624	BL14B1	平賀 晴弘	

Journal of the European Ceramic Society

40793	Shin Tajima	41 (2021) 1352-1359	2018A7030	BL33XU	田島 伸	Characterization of AE(TM) ₂ Bi ₂ O ₉ (AE: Ca, Sr, Ba; TM: Nb, Ta) as Oxide Ion Conductors
			2018B7030	BL33XU	田島 伸	
			2019A7030	BL33XU	田島 伸	
			2019B7030	BL33XU	田島 伸	

Journal of the Japan Petroleum Institute

40881	Naohiro Shimoda	63 (2020) 365-374	2017A1584	BL14B2	里川 重夫	Local Structure Analysis of Active Sites in NiO/γ-Al ₂ O ₃ Catalyst for Dimethyl Sulfide Decomposition: Sulfurization Behavior of Ni Species Using X-ray Absorption Spectroscopy Analysis
-------	-----------------	----------------------	-----------	--------	-------	---

Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers

40849	Ke-Hsuan Wang	110 (2020) 34-40	2017B1082	BL01B1	吉田 真明	Effects of Electrolyte pH on the Formation of Nickel Oxide Films and the Corresponding Electrochromic Properties
			2019A1386	BL01B1	吉田 真明	

Journal of Vacuum Science & Technology B

40740	Masaaki Niwa	38 (2020) 033801	2017B0921	BL13XU	壬生 攻	Effect of Metallic Mg Insertion in CoFeB/MgO Interface Perpendicular Magnetic Tunnel Junction on Tunnel Magnetoresistance Ratio Observed by Synchrotron X-ray Diffraction
-------	--------------	---------------------	-----------	--------	------	---

Langmuir

40941	Ken Terao	36 (2020) 14425-14431	2016A1053	BL40B2	寺尾 憲	Complex Formation of Silica Nanoparticles with Collagen: Effects of the Conformation of Collagen
			2016B1088	BL40B2	寺尾 憲	
			2019A1072	BL40B2	寺尾 憲	

Macromolecular Materials and Engineering

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
40930	Masaki Kakiage	305 (2020) 2000252	2019B1347	BL40XU	上原 宏樹	High-Strength and High-Toughness Melt-Spun Polyethylene Fibers Derived from Composite Structure Formation

Materialia

40679	Kazuyuki Shimizu	11 (2020) 100667	2015A0076	BL20XU	戸田 裕之	Influence of Nanovoids in the Hydrogen Embrittlement Fracture of Al-Zn-Mg-Cu Alloys
-------	------------------	---------------------	-----------	--------	-------	---

Materials Research Bulletin

40859	Fumito Fujishiro	133 (2021) 111063	2018B1446	BL01B1	大石 昌嗣	Relationship among the Local Structure, Chemical State of Fe Ions in Fe-O Polyhedra, and Electrical Conductivity of Cubic Perovskite $Ba_{1-x}Sr_xFe_{0.9}In_{0.1}O_{3-\delta}$ with Varying Number of Oxide Ion Vacancies
-------	------------------	----------------------	-----------	--------	-------	--

Metals

40837	Yuji Sano	10 (2020) 1490	2011A1685	BL19B2	佐野 雄二	Effect of Laser Peening on the Mechanical Properties of Aluminum Alloys Probed by Synchrotron Radiation and X-Ray Free Electron Laser
			2011B1861	BL19B2	佐野 雄二	
			2012A1274	BL19B2	佐野 雄二	
			2012B1740	BL19B2	佐野 雄二	
			2013B1863	BL19B2	佐野 雄二	
			2014A1700	BL19B2	佐野 雄二	
			2014B1927	BL19B2	政木 清孝	
			2012A8012	BL3	佐野 雄二	
			2012B8011	BL3	佐野 雄二	
			2013A8025	BL3	佐野 雄二	
			2013B8029	BL3	佐野 雄二	
2014A8015	BL3	佐野 雄二				
2014B8016	BL3	佐野 雄二				

Natural Product Research

40973	Thi Thanh Van Tran	32 (2018) 2291-2296	2015A1848	BL19B2	湯口 宣明	Structure, Conformation in Aqueous Solution and Antimicrobial Activity of Ulvan Extracted from Green Seaweed <i>Ulva reticulata</i>
			2014B1937	BL19B2	湯口 宣明	

New Journal of Physics

41027	Adriano Verna	22 (2020) 123029	2017A8070	BL1	大浦 正樹	Photoemission from the Gas Phase using Soft X-ray fs Pulses: an Investigation of the Space-Charge Effects
			2017B8021	BL1	大浦 正樹	

Organic Electronics

40714	Sultan Otep	87 (2020) 105986	2019B1006	BL40B2	松本 英俊	Diketopyrrolopyrrole-thiophene-methoxythiophene Based Random Copolymers for Organic Field Effect Transistor Applications
-------	-------------	---------------------	-----------	--------	-------	--

Organic Letters

40822	Michihisa Murata	22 (2020) 4160-4163	2019B1129	BL02B1	笹森 貴裕	Benzo- and Thieno-Annulated Tetracenes: A One-Pot Synthesis via Cross-Dehydrogenative Annulation
			2019A1057	BL02B1	笹森 貴裕	
			2019A1677	BL02B1	鈴木 文陽	
			2018B1668	BL02B1	菅原 知敏	
			2018A1167	BL40XU	笹森 貴裕	

Organometallics

40838	Koji Koide	39 (2020) 3742-3758	2018B1335	BL01B1	野村 琴広	Synthesis and Structural Analysis of Four Coordinate (Arylimido)niobium(V) Dimethyl Complexes Containing Phenoxide Ligand: MAO-Free Ethylene Polymerization by the Cationic Nb(V)-Methyl Complex
			2019A1233	BL01B1	野村 琴広	
			2020A1473	BL01B1	野村 琴広	

Oxidation of Metals

40761	Shigenari Hayashi	93 (2020) 573-586	2017B1923	BL19B2	林 重成	Effect of Zr on Initial Oxidation Behavior of FeCrAl Alloys
			2018A1567	BL19B2	林 重成	

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
40768	Kohei Yamagami	536 (2018) 843-846	2014A1023	BL27SU	関山 明	Polarization-dependent X-ray Photoemission Spectroscopy for High-T _c Cuprate Superconductors
			2014A1149	BL19LXU	関山 明	
			2014B1299	BL27SU	関山 明	
			2014B1305	BL19LXU	関山 明	

Physical Review Materials

40988	Norihiko L. Okamoto	4 (2020) 123603	2018B1047	BL35XU	岡本 範彦	Evolution of Microstructure and Variations in Mechanical Properties Accompanied with Diffusionless Isothermal ω Transformation in β -titanium Alloys
-------	---------------------	--------------------	-----------	--------	-------	---

Planta

40704	Kaori Matsuyama	252 (2020) 72	2017B2712	BL38B1	石丸 恵	Substrate-Recognition Mechanism of Tomato β -galactosidase 4 using X-ray Crystallography and Docking Simulation
			2016A2500	BL38B1	多田 俊治	
			2016B2728	BL38B1	多田 俊治	

Polymer Journal

40854	Jian Shen	52 (2020) 1273-1278	2017A7209	BL03XU	和泉 篤士	Structural Deformation of Elastic Polythiophene with Disiloxane Moieties under Stretching
			2017B7261	BL03XU	和泉 篤士	
			2018A7211	BL03XU	和泉 篤士	
			2018B7261	BL03XU	和泉 篤士	
			2019A7209	BL03XU	和泉 篤士	
2019B7259	BL03XU	和泉 篤士				

Radiation Physics and Chemistry

40927	Hitoshi Sato	175 (2020) 108148	2015B1402	BL39XU	佐藤 仁	Cu 2p-1s X-ray Emission Spectroscopy of Mineral Tetrahedrite Cu ₁₂ Sb ₄ S ₁₃
			2017B1223	BL39XU	佐藤 仁	
			2018A1175	BL39XU	佐藤 仁	

Review of Scientific Instruments

40684	Satoshi Okumura	91 (2020) 095113	2016B1253	BL20B2	奥村 聡	An Experimental System for Time-Resolved X-ray Diffraction of Deforming Silicate Melt at High Temperature
			2017B1147	BL20XU	奥村 聡	
			2018A1265	BL20XU	奥村 聡	
			2018B1282	BL20XU	奥村 聡	
			2019A1524	BL20XU	奥村 聡	

Science Advances

40877	Felix Lehmkuhler	6 (2020) eabc5916	2013A8010	BL3	Lehmkuhler Felix	Slowing down of Dynamics and Orientational Order Preceding Crystallization in Hard-Sphere Systems
			2015B8015	BL2	Lehmkuhler Felix	

Scripta Materialia

40754	Tomoya Nakatani	189 (2020) 63-66	2017B0921	BL13XU	壬生 攻	Thickness Dependence of Degree of B2 Order of Polycrystalline Co ₂ (Mn _{0.8} Fe _{0.4})Ge Heusler Alloy Films Measured by Anomalous X-ray Diffraction and its Impacts on Current-Perpendicular-to-Plane Giant Magnetoresistance Properties
			2018A1016	BL13XU	宝野 和博	
			2018B1537	BL13XU	桜庭 裕弥	
			2019A1532	BL13XU	桜庭 裕弥	

Sensors and Materials

40867	Hirokazu Masai	31 (2019) 1297-1303	2017B1577	BL14B2	正井 博和	Relationship between Valence States of Copper in Aluminophosphate Glasses and the Emission Properties
-------	----------------	------------------------	-----------	--------	-------	---

Structural Dynamics

40949	Cecilia Wickstrand	7 (2020) 024701	2016B8063	BL3	南後 恵理子	A Tool for Visualizing Protein Motions in Time-Resolved Crystallography
			2017A8018	BL3	南後 恵理子	

Synchrotron Radiation News

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
40999	Takamasa Nonaka	33 (2020) 34-39	2016A7008	BL33XU	野中 敬正	Hard X-ray Photon-in/Photon-out Spectroscopies of Lithium-ion Battery Electrodes
			2016B7008	BL33XU	野中 敬正	
			2017A7008	BL33XU	野中 敬正	
			2017B7008	BL33XU	野中 敬正	
			2014B1574	BL39XU	西村 友作	
2014B1582	BL27SU	西村 友作				

Toxins

40805	Sung-Min Kang	12 (2020) 380	2019A6972	BL44XU	Lee Bong Jin	mRNA Interferase <i>Bacillus cereus</i> BC0266 Shows MazF-Like Characteristics Through Structural and Functional Study
-------	---------------	------------------	-----------	--------	--------------	--

Tribology Letters

40820	Kazuyuki Yagi	68 (2020) 115	2014B7021	BL33XU	山口 聡	In Situ Observation of Crystal Grain Orientation During Scuffing Process of Steel Surface Using Synchrotron X-ray Diffraction
-------	---------------	------------------	-----------	--------	------	---

高圧力の科学と技術 (The Review of High Pressure Science and Technology)

40816	Masayuki Nishi	30 (2020) 95-101	2016A1476	BL10XU	西 真之	Water Transport into the Deep Mantle by Hydrous Phases
			2017B1110	BL10XU	西 真之	
			2015A0075	BL04B1	入船 徹男	
			2010A0082	BL04B1	入船 徹男	

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

40799	Yuichi Satokawa	93 (2020) 304-308	2018B1857	BL19B2	里川 雄一	Aggregation Structure of Aqueous Pigment Dispersions Evaluated by Rheology and Small-Angle X-ray Scattering
			2018A7222	BL03XU	小池 淳一郎	

塗装工学 (Journal of Japan Coating Technology Association)

40911	Hideo Kobayashi	55 (2020) 424-430	2017A3220	BL24XU	末広 省吾	Observation of Drying Slurry with Laminography
			2017B3220	BL24XU	末広 省吾	
			2018A3220	BL24XU	末広 省吾	
			2018B3220	BL24XU	末広 省吾	

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

41033	Shintaro Kobayashi	62 (2020) 221-222	2016A1620	BL02B2	中埜 彰俊	Successive Structural Transitions of CrSe ₂ with Anomalous Valent Chromium
			2016B1437	BL02B2	澤 博	
			2016B1270	BL02B1	小林 慎太郎	
			2017A1081	BL02B1	小林 慎太郎	

日本食品工学会誌 (Japan Journal of Food Engineering)

40765	Gabsoo Do	21 (2020) 113-121	2017B1032	BL14B2	都 甲洙	Determining the Internal Structure of Ice Cream Using Cryogenic Microtome Imaging and X-ray Computed Tomography
			2018B1832	BL14B2	都 甲洙	

粉体および粉末冶金 (Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy)

40924	Keiichi Tsuda	67 (2020) 545-552	C03B3002	BL16XU	飯原 順次	Development of Functionally Graded Hard Material
-------	---------------	----------------------	----------	--------	-------	--

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

40696	Saki Imada	33 (2020) 307-315	2019B1175	BL27SU	今田 早紀	Band Structure Engineering and Crystal Orientation Control in Wurtzite AlN via Substitution of 3d Transition Metal for Al
			2019A1266	BL27SU	今田 早紀	
			2018A1103	BL27SU	今田 早紀	

博士論文 (京都大学)

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
40706	Toru Hagiya	(2020)	2015A4264	BL12XU	松田 和博	Electronic Excitation and Density Response in Liquid Alkali Metals Studied by Inelastic X-ray Scattering
			2015B4251	BL12XU	松田 和博	
			2016A4264	BL12XU	松田 和博	
			2016B4254	BL12XU	松田 和博	
			2017A4267	BL12XU	松田 和博	
			2017B4254	BL12XU	松田 和博	
			2018A4253	BL12XU	松田 和博	
			2018A4261	BL12XU	松田 和博	
2018B4260	BL12XU	松田 和博				

博士論文 (京都工芸繊維大学)

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
40695	Nobuyuki Tatemizo	(2020)	2019B1741	BL01B1	立溝 信之	Study on Crystallographic and Electronic Properties of 3d Transition Metal Doped AlN Films
			2019A1669	BL01B1	立溝 信之	
			2018B1694	BL27SU	立溝 信之	
			2018A1648	BL27SU	立溝 信之	
			2017B1704	BL27SU	立溝 信之	
			2018A1103	BL27SU	今田 早紀	
			2019A1266	BL27SU	今田 早紀	
			2019B1175	BL27SU	今田 早紀	

課題以外の成果として登録された論文

Applied Sciences

研究成果番号	主著者	雑誌情報		ビームライン	タイトル
40855	Tadashi Togashi	10 (2020) 7934	XFEL	BL3	Femtosecond Optical Laser System with Spatiotemporal Stabilization for Pump-Probe Experiments at SACLA
40878	Hiroshi Iwayama	10 (2020) 7852	装置&技術	BL1	Demonstration of Transmission Mode Soft X-ray NEXAFS Using Third- and Fifth-Order Harmonics of FEL Radiation at SACLA BL1

Chemistry Letters

40889	Hao Wu	47 (2018) 732-735	一般	BL11XU	Extraction Behavior of Lanthanides by a Novel Ionic Liquid Including <i>N,N,N',N'</i> -Tetrakis(2-pyridylmethyl)-1,3-diaminopropane-2-amido Structure: A Soft-Hard Donor Combined Strategy
-------	--------	----------------------	----	--------	--

Dalton Transaction

40888	Hao Wu	47 (2018) 10063-10070	一般	BL11XU	Selective Separation of Cadmium(II) from Zinc(II) by a Novel Hydrophobic Ionic Liquid Including an <i>N,N,N',N'</i> -tetrakis(2-methylpyridyl)-1,2-phenylenediamine-4-amido Structure: a Hard-Soft Donor Combined Method
-------	--------	--------------------------	----	--------	--

Microscopy and Microanalysis

40710	Nozomu Ishiguro	26 (2020) 878-885	理研	BL29XU	Nanoscale Visualization of Phase Transition in Melting of Sn-Bi Particles by <i>In situ</i> Hard X-ray Ptychographic Coherent Diffraction Imaging
-------	-----------------	----------------------	----	--------	---

専用ビームラインにおける評価・審査の結果について

公益財団法人高輝度光科学研究センター
利用推進部

SPring-8 に設置されている専用ビームラインは、登録施設利用促進機関である JASRI の専用施設審査委員会において、「放射光専用施設の設置計画の選定に関する基本的考え方」に基づき、評価・審査等を実施し、その評価・審査の結果は、SPring-8 選定委員会に諮った後に通知・公表されます。

以下の 2 機関 3 本の専用ビームラインについては、2020 年 12 月に専用施設審査委員会（以下、本委員会という）で評価・審査を実施し、その評価審査の結果を 2021 年 2 月に開催しました SPring-8 選定委員会に諮り、承認されましたので以下、報告します。

中間評価

- ・兵庫県 BM ビームライン (BL08B2)
 - ・兵庫県 ID ビームライン (BL24XU)
- (設置者：兵庫県)

利用状況等評価・次期計画審査

- ・革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発ビームライン (BL28XU)
- (設置者：国立大学法人京都大学)

兵庫県が設置した兵庫県 BM ビームライン (BL08B2) および兵庫県 ID ビームライン (BL24XU) は、元々は設置時期の異なる専用ビームラインでしたが、前回の契約更新時の結果から、今回は 2 本同時期に中間評価を実施しました。評価の結果は、ともに今後の運用を「継続」することとなりました。

国立大学法人京都大学が設置した革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発ビームライン (BL28XU) は、契約上の設置期間満了前に再契約の意思表示があり、本委員会で利用状況等の評価と次期計画の審査を実施しました。

評価・審査の結果は、5 年間の再契約を「承認」することし、2 年半後を目途に中間評価を行うこととなりました。

評価・審査結果の詳細については、以下、各施設の報告書を参照ください。

兵庫県 BM・ID ビームライン
(BL08B2・BL24XU) 中間評価報告書

兵庫県ビームラインは 1998 年に SPring-8 最初の専用ビームラインとして稼働した BL24XU と 2004 年より稼働した BL08B2 の二つのビームラインからなり、BL24XU は 2018 年から第三期の、BL08B2 は 2016 年から第二期の利用期となっている。BL24XU は 2018 年の契約更新の際、次期計画の方向性、具体性が不十分で満足な利用成果創出の実現に懸念があったため、次期計画開始 3 年後を目途に BL08B2 と共に中間評価を行なうことを勧告されており、今回兵庫県が設置した 2 本のビームラインである BL24XU と BL08B2 の中間評価を同時に行なうこととなった。

兵庫県が設置する BL24XU 及び BL08B2 の 2 本の兵庫県ビームラインは、産業分野に関わる利用者が放射光を利活用するための専用施設であり、産業界が求めるニーズを捉えて必要な計測機能を整備・提供し、(公財)ひょうご科学技術協会放射光研究センターが兵庫県からの委託を受けて利用者を支援している。主要利用者はものづくり企業であるが、産学官連携の体制で新材料の研究開発に携わる大学等にも供用されている。

2018 年度からの今利用期では、未経験者も利用しやすい利用制度の導入や県放射光利用戦略会議と県ビームライン運営会議の設置、管理運営委託先の変更等の兵庫県によるガバナンス強化により、2020 年までの 3 年間の成果目標である (1) 72 報の論文と 60 件の成果報告、(2) 12,792 千円のビーム料、(3) 新分野のユーザー獲得に向けた放射光利用の裾野拡大への貢献、の 3 項目に関して、今回の中間評価の時点で (1) 以外は達成するに至り、成果の進展が見られている他、兵庫県が実施した利用者からのヒヤリングでも企業の事業活動への貢献の声が寄せられていることから、専用施設審査委員会は当該ビームラインの設置と運用を「継続」することを勧告することが妥当であると判断した。

以下、兵庫県から本委員会に提出された「兵庫県ビームライン (BL24XU・BL08B2) 中間評価報告書」と 2020 年 12 月 4 日に開催された本委員会での報告および討議に基づき、以下の点についてその評価と提言を記す。

1. 「装置の構成と性能」に対する評価

BL24XU は 8 の字アンジュレーターの高輝度光源を用い、産業界が SPring-8 の威力を実感する機会の提供と人材育成等、普及の初歩的な役割に主眼が置かれたビームラインであるが、これまでこの高輝度光源によって分光器が受ける熱負荷が増大し、強度の低下や結晶の歪みによるビームの発散、ドリフトによる経時安定性の低下など、種々の問題があった。これらの問題を解決することを目的に、今期において液体窒素冷却式分光器の導入と輸送部光学系機器の最適レイアウトを行なうことで、ビームの安定性を格段に向上させた。一方、産業界からの高難度のイメージングのニーズに応えるために、高ダイナミックレンジ・高フレームレート・高解像度の 2 次元検出器の導入や SPring-8-II での本格利用をめざし X 線タイコグラフィの実装を行ない、また、多波回折明視野トポグラフィの開発と実用化を行なうなど、兵庫県ビームラインとして特徴を持つようになった。BL08B2 は偏向電磁石を光源とし、XAFS、トポグラフ、CT、X 線回折、X 線小角散乱など、産業界でニーズの高い計測法を提供するビームラインである。重点産業分野への対応と特徴あるビームラインを目指し、当初、ビームラインの自動化への改造や精密評価技術の新規整備を予定していたが、ビームライン機器の自動アライメント機能の整備や自動計測システムの整備、さらに金属材料向けの実験環境の整備など当初の計画を上回る高度化を実現した。ビームライン機器の自動アライメント機能については、光学系アライメントの全自動化が実現されており、これまで複数人で 1 時間程度かかっていた光学系のアライメントが一人で、20 分ほどでできるなど、省力化、短時間化の両方が実現できている。

以上示したように、BL24XU は SPring-8 の高輝度放射光の特徴を活かした先進的な利用技術を産業応用に展開することを目的としたビームラインであり、一方、BL08B2 は産業界における放射光利用のすそ野を広げることを目的としたビームラインであり、2 つのビームラインの特徴を活かしながら放射光の産業応用への展開が十分期待できる。

2. 「施設運用及び利用体制」に対する評価

兵庫県ビームラインは県が作成した 8 つの基本方

針（新方針）により、（公財）ひょうご科学技術協会放射光研究センターが運営主体となり、新分野のユーザー獲得や設置者（兵庫県）によるガバナンスの明確化による他のビームラインとの差別化と成果創出の推進に取り組んでいる。

この基本方針により、随時利用など企業利用者が利用しやすい制度を以前から実施されているが、さらに今利用期からは放射光未経験者が利用しやすいよう半日単位の利用制度や、中小企業が安く利用しやすいよう1時間単位で利用できる制度も導入し、企業利用に対して他にはない特徴を持って取り組んでいることが評価できる。さらにマテリアルズ・インフォマティクス（MI）と連携してもの作りのプロセスを支援としている取り組みは今後の展開が期待される。産業利用の良き参考モデルとして、一つの方向性を示しているものと評価する。兵庫県は兵庫県放射光利用戦略会議の開催や兵庫県ビームライン運営会議を設置したり、兵庫県ビームラインの管理運営を（公財）ひょうご科学技術協会に一元化するなどしたりして、これまで曖昧であった県によるガバナンスを明確化したことは評価できる。一方で、マンパワーの問題もあると思われるので、兵庫県庁と放射光研究センター間のコミュニケーションを強化して活動を推進する必要があると思われる。

3. 「研究課題、内容、成果」に対する評価

兵庫県ビームラインが成果の目標と設定した3項目、(1) 論文等報告：年間40報、(2) 成果専有料：年間4,000千円以上、(3) 利用の裾野拡大、に対しては(1)は2018、2019年度共に未達で、現在増加傾向にあるものの目標達成が難しい状況である。(2)は2018、2019両年度共に11,000千円を超える実績があった。(3)は食品・調理分野等での成果が得られている。まだ成果はこれからではあるがMIとの連携での活動が進展している点で目標達成していると言える。(1)の未達の原因については、兵庫県ビームラインの利用者の80%が企業であり事業化後でないことと成果を公開しにくく論文発表等までに長期間を要することや、特に兵庫県ビームラインは産業利用の裾野拡大のため企業の単独申請が中心であり、複数課題利用の後に論文発表等の成果公開に至るケースが多い状

況によるものと解析している。本ビームラインのこのような目的を考慮すると、成果を共用ビームラインと単純に論文数で比較することは適当ではないと考える。論文数は計画未達ではあるが、成果専有利用料が計画値の2倍以上あることは利用者の要望に応えた成果であると思われる。もちろん、利用者には時間を要しても論文数は進めてもらい、設置者には過去の利用でも兵庫県ビームラインの成果として捕捉して欲しい。また、論文以外の成果の公表方法も検討して欲しい。

4. 「今後の計画」に対する評価

今後の計画内容は、引き続きSPring-8の産業利用促進に貢献すると共にSPring-8-IIを見据えてソフト面の取り組みを充実させる計画であり、適切なものとする。中でも放射光利用だけでなく、データ解析や人材育成等の産業支援を組み合わせた「データ駆動型ものづくり支援」は大変ユニークな取り組みであり期待するところが大きい。活動の成果目標については、前半3年間の実績を元にして論文数と成果占有利用料を実態に即した値に修正するものであり妥当なものとする。一方で、兵庫県立大学が運営する軟X線領域の放射光施設であるニュースバルとの連携強化を図ることを期待する。最後に、SPring-8/SACLAの文科省中間評価でも産業利用の促進が期待されており、SPring-8の数少ない産業用ビームラインとして一層の活動促進をお願いしたい。

以上

革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発ビームライン (BL28XU) 利用状況等評価及び次期計画審査報告書

設置者である国立大学法人京都大学から提出された利用状況等報告書、次期計画書および口頭による報告発表にもとづき、ビームラインとステーションの構成と性能、施設運用及び利用体制、利用成果、今後の計画について、2020年12月4日に開催した第32回専用施設審査委員会で評価・審査を行った。

その結果、次期計画のための再契約は妥当であると判断した。なお、次期計画は5年間として提案されて

いるが、ビームライン自身の進捗に加え SPring-8 の次期計画の進捗に応じた見直し等が必要と考えられることから、2年半後を目途に中間評価を行うことを勧告する。以下、項目毎の評価・審査結果の詳細を記載する。

1. 「装置の構成と性能」に対する評価

BL28XU は、光源として SPring-8 標準真空封止型テーパードアンジュレータを採用しており、時分割測定に対応するために 2 基の高速動作チャンネルカットモノクロメーター（コンパクトモノクロメーター）を整備している。また、ピンクビームの利用も可能となっている。これらの光学系を利用し、回折測定と分光測定、さらには回折と分光を組み合わせた測定を電池動作下で起こる電気化学反応のその場観察測定に適用するため、異なる時間スケールに対応した計測を実現した点は高く評価できる。

第 1 実験ハッチにはグローブボックス付き回折計と多軸回折計が整備されている。実施可能な実験としては、粉末・薄膜・共焦点 X 線回折、全反射回折・反射率測定、Quick XAFS・異常散乱・DAFS、波長走査型 X 線回折、全散乱測定（～50 keV）、小角散乱測定、準白色光利用 X 線回折、など多様であるが、「電池を解体せずに作動条件下で観測する手法」としての共焦点 X 線回折が実験の中心となっている。一方、嫌気性の蓄電池電極材料の回折実験を目的として開発されたグローブボックス付き回折計は、本ビームラインの目的を象徴的に体現した他に類を見ない特徴的な装置である。

第 2 実験ハッチには最下流にフリースペースが設けられ、実験者が独自に開発した装置を持ち込んだ実験に対応できるようになっている。専用施設の利点を生かして実験者の要望に柔軟な対応を目指していることは適切な機器整備といえる。上流には Operando & imaging HAXPES 装置が現状設置されているが、これも持ち込み装置の一つとして位置付けられている。

2. 「施設運用及び利用体制」に対する評価

BL28XU は、NEDO 革新型蓄電池先端科学基礎研究事業 (RISING) で建設と整備が行われ、その後継事

業である革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発事業 (RISING2) に引き継がれた革新型蓄電池開発の研究のために設計された専用ビームラインである。ビームラインの維持管理、高度化およびユーザー支援は、京都大学の SPring-8 に常駐するビームライン担当者とテクニカルスタッフが行っており、当初計画に沿った性能目標を達成している。利用研究は、拠点および参画企業より提出された課題について、運営委員会がプロジェクトの目標を考慮して審査している。このような運用体制は、革新型蓄電池開発の基盤技術開発というプロジェクトの目的に沿ったものであり、ビームラインが安定に利用実験に供され、有効にビームタイムが活用されていることは評価できる。安全面においても、定期的にご利用規則や機器利用方法等の講習会を実施するなど、実験の安全確保への配慮も認められ、良好な運用がなされたと評価できる。一方、BL28XU においては取り扱いに注意が必要な化学薬品やガスを用いる実験が多数行われるため、実験の円滑な遂行と安全の確保に向けて今後も一層の努力が払われることを期待する。

3. 「研究課題、内容、成果」に対する評価

蓄電池を対象とした X 線回折その場測定技術として、グローブボックス回折装置に加えて 2 次元検出器を用いた最速 3 ミリ秒分解能の時分割 X 線回折測定技術、位置分解能ミリメートル単位の X 線回折マッピング技術、X 線回折・XAFS 同時測定技術、異常散乱測定技術、高速な DAFS 測定技術、X 線全散乱技術、小角散乱・X線回折・XAFS 同時測定など複数の測定技術開発が実施され、充電による Li 正極材料の相変化や格子定数変化の観察、正極材料の構造変化に先んじて発生する含有遷移金属 (Fe) イオンの価数変化の発見、充放電に応じた遷移金属 (Ni) 価数変化の占有サイトによる違いの発見など、複数の成果が得られている。中でも、第 2 実験ハッチのフリースペースに設置してある防爆チャンバーと 3 ミリ秒分解能の時分割 X 線回折測定を組み合わせることで、釘刺し試験時のリチウムイオン電池の不安定化挙動を時分割 X 線回折測定により観測した結果は蓄電池の不安定化挙動の解明に役立つ成果として評価できる。

これら蓄電池材料の先端的分析に向けて開発され

た特徴的な測定技術は、当該分野で高い競争力を有するものと認められる。これらの装置、技術を用いて蓄電池反応解析に関する重要な成果が得られているが、SPring-8 に登録された論文数は 2013 年から 2020 年で 50 報程度にとどまり期待する水準以上とは言い難い。BL28XU で実施された実験の成果が十分に捕捉できていない可能性も懸念されるため、利用成果の確実な捕捉への努力とともに、論文発表に代表される利用成果の公開促進に向けた更なる努力を強く期待する。またこの 5 年間の実施課題数は以前より増加しているものの他の専用ビームラインと比較して少なく、包括的な課題になっていないかという懸念がある。今後本格的な利用フェイズになれば、これまでなかった成果専有利用も増加することが予想されるため、課題実施内容の透明性を確保のために個別的な課題内容として実施数を増やす必要がある。

4. 「次期計画」に対する評価

革新型蓄電池開発とその実用を目指した、2015 年度までの革新型蓄電池先端科学基礎研究事業 (RISING)、および、2020 年度までの革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発事業 (RISING2) で得られた成果に立脚し、NEDO が掲げる次期事業 (電気自動車用革新型蓄電池技術開発) のもと、リチウムイオン電池の性能を凌駕する革新的蓄電池の研究を BL28XU で実施する計画が検討されていると判断できる。革新的蓄電池は世界的な研究開発競争にあり、プロジェクトとして速やかに成果を創出する観点から専用 BL である意義は高く、BL の有効活用により多くの重要な成果が創出されることが期待できる。また、蓄電池特性の向上を目指す上で、マクロ反応分布・固体内反応・界面反応を解明する必要がある、これに対して、高輝度準白色光を用いた共焦点 X 線回折の高度化で、オペランド観測を含むマルチスケール測定を目指すことは評価できる。効率的な研究推進を可能とする測定や解析のオートメーション化への取り組みも期待できる。

一方、プロジェクトテーマ (500 Wh/kg の達成) が挑戦的であり、かつ、様々な研究要素があるため、プロジェクト全体のマネージメントには十分な検討が必要である。プロジェクトのビジョンのもと、目標達

成に必要な研究者間、グループ間の連携、および、装置の高度化をロードマップとしてより具体的に示して、フッ化物電池と亜鉛負極電池の研究開発にしっかりと取り組んで頂きたい。同様に、日本が世界をリードする蓄電産業の競争力強化への貢献も期待できるため、計画で掲げた BL28XU を「産業開発ビームラインのモデル」にするという観点からは、ロードマップと整合する企業との連携を具体化することを望む。そのための京都大学の役割とリーダーシップに期待する。

次期事業での課題として挙げた中性子ビーム研究との連携について、京都大学に「量子ビームコンソーシアム」を設置して推進することは高く評価できる。放射光と中性子の相補利用による優れた成果が多数得られることが予想されるので、その成果が積極的に公開され分野の先駆者たることを望む。また、コンソーシアムが主体となって進めるマルチ量子ビーム科学における人材育成、人材輩出は SPring-8 や J-PARC においても重要で、歓迎されるべきものであろう。この取り組みにおいても具体的なアクションプランを立て、強いリーダーシップの元を実施することを大いに期待する。一方で、「外部利用枠」の運用について、どのような利用者・研究テーマを想定し、他とどう差別化を図っていくのかを含めて、次期計画書からは十分に読み取ることができなかった。2018 年度の国の SPring-8/SACLA 中間評価で指摘されたような専用ビームラインの蛸壺化を避けるためにも、事前に施設側と十分に協議の上、目的・コンセプトを広く共有しながらオープンかつ合理的な運用を目指して頂きたい。

以上

利用系グループ活動報告

XFEL 利用研究推進室 先端計測・解析技術グループ

公益財団法人高輝度光科学研究センター XFEL 利用研究推進室
 国立研究開発法人理化学研究所 放射光科学研究センター
 城地 保昌、初井 宇記

1. はじめに

XFEL 利用研究推進室・先端計測・解析技術グループでは SACLA のために、検出器およびデータ取得・解析基盤の開発・運用を理化学研究所（理研）とともに進めている。データ取得・解析基盤は、SACLA でのハイパフォーマンスコンピュータ（HPC）を多用する実験を可能としている。これらの実験では、HPC などの計算技術に不慣れなユーザーでもソフトウェアを短時間で作成できることが望ましいが、このニーズに対応した技術基盤である API（Application Programming Interface）も提供を行っている。直近ではコロナ禍対応のためのリモート実験環境も準備を進めている。本稿では、データ取得・解析基盤を支えている各種技術・システムの現状について概説する。

2. SACLA のデータ取得・解析基盤の開発・運用

SASE 型の XFEL は、ショット毎にその特性が変わるため、最大 60 Hz の周期で発振するすべてのパルスの特性を後から参照できるように記録しておく必要がある。また、大強度の XFEL パルスが照射されると試料は 1 ショットで損傷してしまうため、多くの場合、ショット毎に試料を交換して実験が行われる。したがって、XFEL パルスの特性と実験データとの相関をとるために、XFEL パルス毎に同期して実験計測を行う必要がある。SACLA では、ビームラインの光診断で取得されたパルスの特性と、試料を介して検出されるデータをすべて網羅的に取得・保存する。実験ユーザーは、試料に X 線パルスが意図した通りに照射できていたかどうかを確認するため簡易の迅速解析によりデータを可視化するなどして、所望の実験を遂行する。その後、計算時間を要する詳細解析を行う。実験データの最大スループットは、我々が開発した

MPCCD センサー^[1]12 個分にあたる 6 Gbps を想定している。以上のような要件を満たすため、我々は、SACLA のデータ取得・解析システム^[2-4]を開発・運用している。図 1 はその模式図である。

データ転送性能およびセキュリティを担保するためファイアウォールで保護された 3 つの LAN (DAQ-LAN、DAQ-USER-LAN、HPC-LAN) から構成される。DAQ-LAN と DAQ-USER-LAN は、ビームラインごと (BL1、BL2、BL3) にそれぞれ独立に整備されている。大まかにいえば、DAQ-LAN には高速に検出器の生画像データが流れ、DAQ-USER-LAN には実験条件設定やオンライン解析を行うための機器が接続され、HPC-LAN にはオフラインの迅速解析と詳細解析、お

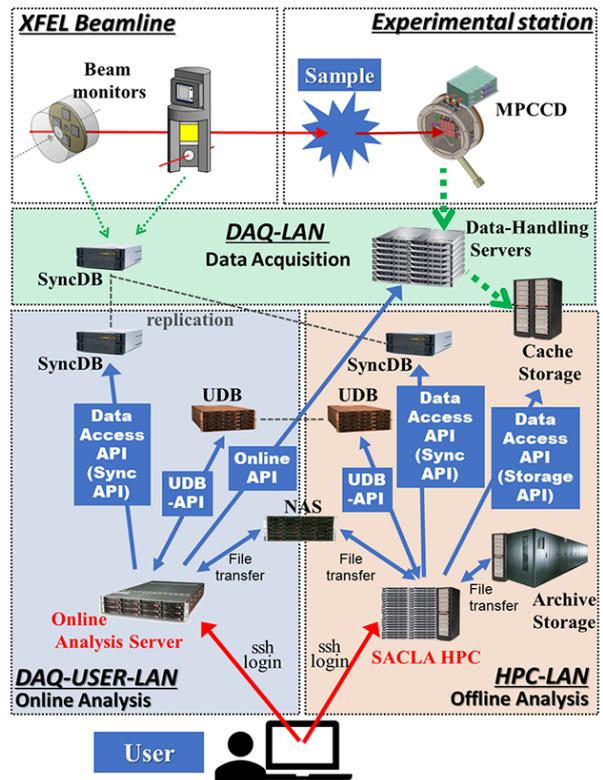


図 1 SACLA のデータ取得・解析システム

よび、その結果の保存のために高速の計算機システムと大容量のストレージがある。MPCCD センサーで取得した生画像データは、データハンドリングサーバーでバッファされ、高速書込みが可能なキャッシュストレージに確実に保存される。データハンドリングサーバーは DAQ-USER-LAN にも接続されており、バッファされている保存前のデータは、オンライン解析サーバーで読み出してリアルタイムに簡易解析することが可能である。その結果は、ユーザーが読み書きできるユーザーデータベース (UDB) に記録できる。光診断などの各種機器で測定された 0 次元データは、DAQ-LAN に接続された同期収集データベース (SyncDB) に記録される。SyncDB データは HPC-LAN に接続された SyncDB に複製され、キャッシュストレージは HPC-LAN にも接続されているので、SyncDB データや生画像データは、約 40 Tflops の計算性能をもつ HPC の各計算ノードで読み出して解析できる。HPC にはデータ処理のための短期保存領域として 2 PB のディスクストレージがある。中長期データ保存にはディスクシステム (1 PB) とテープシステム (10 PB) からなる階層ストレージ (アーカイブストレージ) を整備しており、生画像データ、SyncDB データ、ユーザー処理データのバックアップに用いられている。アーカイブストレージでは、データ書き込み時はディスクシステムに保存されるが、そのデータへのアクセスがない場合には、一定期間を過ぎると自動的にテープシステムにマイグレーションされる。実験ユーザーは、実験ステーションの DAQ-USER-LAN から HPC に ssh 接続できる。また、所外からも VPN を介して HPC-LAN に接続可能であり、実験前準備や実験後のデータ解析に利用できる。実験ユーザーは、SACLA の HPC ポータルサイト⁶⁾から計算機システムの最新情報を得ることができる。

SACLA では、このようなデータ取得・解析基盤を利用して、様々な実験が行われているが、少数の汎用ソフトウェアだけで多様な実験の個別要望に短時間で対応することは難しい。そこで、各実験においてユーザーが自由に素早く独自ソフトウェアを開発できるように各種 API を整備している (図 1)。データハンドリングサーバーにバッファされているストレージ前の生画像データは、OnlineAPI により読み出し可

能で、タイミングモニター解析ツール⁶⁾などの施設開発ソフトウェアや Cheetah⁷⁾、CASS⁸⁾などのユーザーソフトウェアで利用されている。UDB の読み書きには UserDatabaseAPI (UDB-API) が利用可能である。キャッシュストレージと SyncDB に記録されたデータは DataAccessAPI により読み出し可能で、この API は DataConvert4 などの施設開発ソフトウェアや、Cheetah、CASS、SITENNO⁹⁾などのユーザーソフトウェアで利用されている。これらの API は、C/C++ で作成され、その Python wrapper (olpy、udbpy、dbpy、stpy) もユーザー提供している。実験ユーザーは、これらを使えば、データのファイルフォーマットや、各データがどこにあるかなどを意識することなく、データを簡便に読み出すことが可能である。以上に紹介した各種 API と施設開発ソフトウェアのマニュアル、および、その利用例を HPC ポータルで公開している。

SACLA では、データ解析用の API だけでなく、実験制御用の API (ecpy) も提供している。SACLA の利用開始時から数年の間は、RunControlGUI や PulseMotorControlGUI などの汎用ソフトウェアで複数の実験制御に対応していたが、これらでは個別実験毎の様々な要求に短時間で対応することが困難であった。そこで、これらが持っている機能を分割・整理し Python API として提供することで、実験ユーザーが独自の実験制御ソフトウェアを簡便に開発することができるようにした。olpy と ecpy を組み合わせると、リアルタイムの画像解析結果を実験制御ソフトウェアにフィードバックする自動測定が可能になる。ecpy のマニュアル・利用例についても Web ページなどで公開する準備をしている。Python は近年の人工知能 (AI) 分野において標準的な言語である。実験中、実験後の AI 利用も直ちに可能なデータ取得・解析基盤となっている。

3. データ取得・解析システムの更新とデータ保持運用の変更

キャッシュストレージおよび HPC は、それぞれ 5 年ごとに更新しており、直近では 2021 年夏に HPC を更新する予定である。2022 年夏のキャッシュストレージ更新では、BL1 用キャッシュストレージの性能

改善およびデータ量の負荷分散を目的として、構成を大幅に変更する予定である。

アーカイブストレージは、導入から約7年が経過し、ディスクシステムのメーカー保守が終了した。アーカイブストレージには、現状で、生画像データが5 PB 強、ユーザー処理データが3 PB 強保存されている。これ以上のデータ増量に対し、すべてのデータを永久に保持するシステムを運用するのは予算的にも困難であり、ディスクシステムの更新を機に、アーカイブストレージの構成とデータ保持運用を見直すことにした。7.2 PB のディスクシステム (中期ストレージ) を中期保存用として新規導入し、長期保存用のテープシステムと分離して運用する。今後は、中期ストレージからテープシステムへの自動マイグレーションは行われない。ユーザーに協力いただき、2020 年度中に新システムへの移行が完了する予定である。新アーカイブシステムの有効活用のために、データ保持期限およびデータ量制限 (quota) を設定し (表 1)¹⁰⁾、2021 年 3 月から運用を実施する。このデータ保持運用は、SPring-8 データ・ネットワーク委員会¹¹⁾が、2020 年 2 月に策定した「SPring-8/SACLA 共用データシステムに関する実験データ保持ポリシー」に基づくものである。

現状では、実験ユーザーは、VPN 経由のデータ転送、または、ポータブルディスクに保存して、ユーザー処理データを持ち帰ることが可能であるが、これらは大量データの扱いに向かない。データ保持運用変更に伴い、大量データを持ち帰るための環境整備として、

(1) VPN を介さずに高速データ転送するための外部転送ノードの導入、(2) リニアテープオープン (LTO) テープドライブおよびオプティカルディスク・アーカイブ (ODA) ドライブのユーザー利用開始を 2020 年

表 1 SACLA のデータ保持期限と quota 設定

分類	短期	中期	長期
SyncDB データ	240 日 (SyncDB@DAQLAN)	3 年 (SyncDB@HPC-LAN)	+7 年 (テープ)
生画像データ	90 日 (キャッシュ)	3 年 (中期ストレージ)	+5 年 (テープ)
ユーザー処理 データ	90 日 [<10 TB] (HPC ストレージ)	3 年 [100 TB] (中期ストレージ)	-

[] 内は quota 設定値、() 内は保存場所を示す。

度中に行う予定である。(1) では、理研・計算科学研究センター (R-CCS) と連携して、SACLA の実験データを HPCI 共用ストレージ¹²⁾に効率的に転送する環境の整備も進めている。HPCI 共用ストレージを利用するには、ユーザーが個別に HPCI 課題の利用申請をする必要があるが、HPCI 資源を利用することで SACLA の実験データ活用が促進されるというメリットもあると考えている。(2) について、LTO カートリッジは、1 巻あたり非圧縮時 12 TB、圧縮時 30 TB、ODA カートリッジは、1 巻あたり 5.5 TB のデータ保存ができる。

4. 所外からのデータハンドリング環境の改善

新型コロナウイルス感染症の拡大防止のため、来所者数を必要最小限にとどめ、所外の共同実験者との議論やデータ解析を円滑に行うための取り組みについて紹介する。2020 年 10 月に、実験制御端末から Google ドキュメント、スプレッドシート、ドライブなどへ、プロキシサーバーを介してアクセスできるようにした。実験ユーザーが実験ホールで利用可能な無線 LAN は、Zoom、Microsoft Teams、Google Meet などの Web 会議ツールを利用するのに十分な性能をもっており、Google ドキュメントなどの情報共有ツールと併用することで所外の共同実験者との円滑な議論が行うことができる。また、所外の共同実験者が HPC でデータ解析する際の、VPN を介した GUI の動作速度を改善するために FastX を導入し、2020 年 10 月から試験利用を開始した。FastX は、ユーザー PC に特別なソフトウェアをインストールする必要がなく、Web ブラウザから利用可能で、利用者からはその操作感に好評を得ている。2020 年度中に一般利用を開始する予定である。前節で紹介した外部転送ノードも所外の共同実験者との円滑なデータ共有に寄与すると期待している。さらに、来所できない実験グループのために、所外から実験をリモート制御する環境の整備を検討している。最初の実験候補として、ハイパワーレーザーとの同時利用実験を想定している。

5. まとめ

SACLA のデータ取得・解析基盤の現状について報告した。これらは JASRI と理研が緊密な連携のもと

開発・整備してきたものである。現在、約 500 名のユーザーに利用いただいております、年間生データ生成量 1.6 PB をサポートしている。SACLA のような大量データを扱うデータ基盤の開発には最先端の計算科学技術の導入が重要であり、そのために富岳を運用している理研・R-CCS との連携を進めている。本稿がユーザーの皆様のご参考になれば幸いです。また、これらのデータ取得・解析基盤の開発と運用のノウハウは SPring-8 においても活用できる。現在、SPring-8 の基盤強化についても検討を進めている。

参考文献

- [1] T. Kameshima *et al.*: *Rev. Sci. Instrum.* **85** (2014) 033110.
- [2] Y. Joti *et al.*: *J. Synchrotron Rad.* **22** (2015) 571.
- [3] Y. Joti *et al.*: *Synchrotron Rad. News* **30** (2017) 16.
- [4] 改訂版 放射光ビームライン光学技術入門 第 14 章 4.
- [5] <http://xhpcfep.hpc.spring8.or.jp> (VPN 接続が必要)
- [6] K. Nakajima *et al.*: *J. Synchrotron Rad.* **25** (2018) 592.
- [7] T. Nakane *et al.*: *J. Appl. Cryst.* **49** (2016) 1035.
- [8] L. Foucar: *J. Appl. Cryst.* **49** (2016) 1336.
- [9] Y. Sekiguchi *et al.*: *J. Synchrotron Rad.* **21** (2014) 600.
- [10] <http://xfel.riken.jp/users/bml09.html>
- [11] <http://dncom.spring8.or.jp>
- [12] https://www.hpci-office.jp/pages/hpci_2016_st-1

城地 保昌 JOTI Yasumasa

(公財) 高輝度光科学研究センター XFEL 利用研究推進室
(国研) 理化学研究所 放射光科学研究センター
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-0992
e-mail : joti@spring8.or.jp

初井 宇記 HATSUI Takaki

(公財) 高輝度光科学研究センター XFEL 利用研究推進室
(国研) 理化学研究所 放射光科学研究センター
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-0992
e-mail : hatsui@spring8.or.jp

SPring-8 ユーザー協同体 (SPRUC) 四季報

SPring-8 ユーザー協同体 (SPRUC) 会長
 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

2021 年を迎え最初の四季報となります。本年もどうぞよろしく願いいたします。昨年と同様、相変わらず目に見えない微粒子という「敵」との戦いに関するニュースが続いております。このような状況の中、1つの明るいニュースが飛び込みました。我々研究者だけでなく、一般の方々にも目を引くものです。2014 年 12 月に打ち上げられた小惑星探査機「はやぶさ 2」が 5 年の月日を経て無事帰還し、小惑星リュウグウの微粒子サンプルを持ち帰ったのです。前回のはやぶさでは、SPring-8 の放射光 CT などを用いた成果がたくさん出されたこと記憶しております。今回もどのような興味深い研究成果が出てくるのか楽しみでなりません。ところで私自身は物性物理学の分野で研究をしており、小惑星の微粒子解析の研究とは異なりますが、物質科学研究という同じ枠組みとして捉えることができるかと思えます。そう考えますと、物質科学は広い研究分野をカバーしていることを実感いたします。最近、放射光を中心とした物質科学研究の調査をする機会がありました。特に目を引いたのが、高圧にして地球内部の環境を再現した上で、様々な物質の構造などを明らかにするという研究でした。これには、高圧・高温発生装置と SPring-8 から発生する高輝度放射光を組み合わせる必要があり、とても高度な実験だと認識できます。また、物性物理学分野の超伝導・磁性研究でも高圧+高輝度放射光という組み合わせでたくさんの研究成果が出ていることを知りました。今後ますます、このような分野で SPring-8 がなくてはならない施設として活躍していくという確信を持ちました。そのためには、次世代の人材発掘を視野に入れ、我々は努力していかなければなりません。

2. 秋の学校 (本誌 44 ページを参照)

このような目的で、SPRUC では JASRI と共同で、秋の学校をこれまで 4 回開催してきました。第 3 回までは大学等が夏季休暇である 9 月に行ってきました。4 回

目となる今回は、COVID-19 の感染拡大にともない、12 月開催を余儀なくされましたが、47 名もの受講生の参加を得て、対面授業・講習を実施することができました。ちょうどこの記事の執筆中に、参加者アンケートの結果を教えてくださいましたが、ほとんどの参加者から「参加して良かった」との回答をいただきました。また、放射線業務従事者資格をもたない大学の学部生も参加できるように放射光ビームの停止期間に設定されていたものの、実習がとても充実していたとの回答もありました。このように概ね好評だった背景には、実行委員の方々、講師の方々のご尽力によるものであることを改めて認識しており、ここに感謝の意を表します。

3. 第 3 回 BLs アップグレード検討ワークショップ

SPring-8 では、2018 年度の国の中間評価を受けて、ビームラインの再編・高度化が行われています。これはユーザーのサイエンスの強化・成果の最大化にもつながり、重要視すべきものであります。そこで、SPRUC の関連研究会で議論を重ね、それらをまとめた形で、これまで 2 回の BLs アップグレード検討ワークショップを開催してきました。次の対象として、SPring-8 利用の中核である「回折散乱」のビームライン群の再編が検討されていることが、昨年の SPring-8 シンポジウムや三者会合で報告がありました。これを受けて、3 月 5、6 日に第 3 回 BLs アップグレード検討ワークショップを開催することになりました。詳細は、本誌告知欄をご参照ください。皆様には BL のさらなる高度化、サイエンスの強化に向けて積極的なご参加をお願いしたいと存じます。

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

SPRUC 第 3 回 BLs アップグレード検討ワークショップ 開催のご案内

【趣旨抜粋】

SPring-8 のビームラインの在り方や各種計測手法の方向性について、SPring-8 シンポジウム 2017～2020、および、第 1、2 回 BLs アップグレード検討ワークショップでの機会に議論を進めてきました。SPring-8-II を見据えながら、共用・理研・専用施設を含むビームライン全体の再編の議論が始まっています。

SPring-8 ユーザー協団体 (SPRUC) としては、技術開発動向を十分理解した上で、ユーザーの要望を施設側に伝える必要があります。一方、施設側としても利用者の総意をまとめられる SPRUC からのニーズのインプットを必要としています。このため、SPRUC 会員全体で施設側と最新情報を共有するとともに、これまで以上に掘り下げた議論の場を設けることを目的として、本ワークショップを開催します。今回は、今までの BLs アップグレード検討ワークショップや SPring-8 シンポジウム 2020 での議論を踏まえ、それ以降の技術開発動向や BL アップグレードの具体的なプラン、更には、検討事項を共有するとともに、今後の継続的な BL アップグレードに向けた議論を行うことを目的とします。

【主 催】 SPring-8 ユーザー協団体
(公財) 高輝度光科学研究センター
理化学研究所 放射光科学研究センター

【開催期間】 2021 年 3 月 5 日 (金) ～ 6 日 (土)

【会 場】 オンライン開催

【参加費】 無料

【詳細情報】 <http://www.spring8.or.jp/ja/science/meetings/2021/210305/>
プログラム等随時更新します。

【問い合わせ先】 SPring-8 ユーザー協団体事務局
e-mail : users@spring8.or.jp

第 29 回 SPring-8/SACLA 施設公開のご案内

新型コロナウイルス感染拡大防止の為、2021 年度は 4 月にオンラインで開催予定です。

詳細が決まり次第 SPring-8 ホームページ等でご案内しますので是非ご覧ください。



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	大河内拓雄	分光・イメージング推進室
	大和田成起	XFEL 利用研究推進室
	小川 浩平	企画室
	奥村 英夫	タンパク質結晶解析推進室
	関口 博史	回折・散乱推進室
	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)
	濱本美和子	利用推進部
	平山 明香	利用推進部
	廣沢 一郎	安全管理室
	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 崇博	情報処理推進室	
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.1 Winter 2021

SPring-8/SACLA Information

発行日 2021 年 2 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)



光彩降りそそぐ春方へと、みなぎるチカラ膨らんで

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/>