

# SPring-8/SACL A

INFORMATION 利用者情報



ISSN 1341-9668 SPring-8 Document D2018-011

**Vol.23 No.4**  
Nov. 2018

## SPring-8/SACLA Information

### 目次 CONTENTS

理事長室から ー社会経済における正義とイノベーションー Message from President - Justices and Innovation for Social and Economic Evolution - (公財) 高輝度光科学研究センター 理事長 President of JASRI	土肥 義治 DOI Yoshiharu	304
1. 最近の研究から / FROM LATEST RESEARCH		
専用ビームラインの研究から ～BL23SU (日本原子力研究開発機構)～ 軟 X 線磁気円二色性で明らかになった CeFe <sub>2</sub> の特異な 4f 磁性 Unique Magnetic Properties of the 4f States in CeFe <sub>2</sub> Revealed by Soft X-ray Magnetic Circular Dichroism (国) 日本原子力研究開発機構 物質化学研究センター Materials Sciences Research Center, Japan Atomic Energy Agency	齋藤 祐児 SAITOH Yuji	305
専用ビームラインの研究から ～BL24XU (兵庫県)～ 多波近似条件近傍での明視野 X 線トポグラフィ Bright Field X-Ray Topography under Multiple Beam Diffraction Condition 兵庫県立大学 大学院物質理学研究科 Graduate School of Material Science, University of Hyogo 鶴丸 哲也 TSURUMARU Tetsuya 鎌本 春花 KAMAMOTO Haruka 兵庫県立大学 放射光ナノテクセンター Synchrotron Radiation Nanotechnology Center, University of Hyogo	津坂 佳幸 TSUSAKA Yoshiyuki 水落 博之 MIZUOCHI Hiroyuki 藤田 優 FUJITA Yu 松井 純爾 MATSUI Junji	310
(SPRUC 2018 Young Scientist Award 受賞 研究報告) neV 分解能のガンマ線準弾性散乱法による原子・分子のナノ・マイクロ秒ダイナミクス II ー時空ダイヤグラム上でのガンマ線干渉画像ー Atomic and Molecular Slow Dynamics Studied by Gamma-Rays Quasi-Elastic Scattering Method with neV-Energy Resolution II: Gamma-Ray's Interference Picture in Time-Space Diagram 京都大学 複合原子力科学研究所 Institute for Integrated Radiation and Nuclear Science, Kyoto University	齋藤 真器名 SAITO Makina	316
(SPRUC 2018 Young Scientist Award 受賞 研究報告) 微小結晶タンパク質 X 線結晶構造解析を加速する自動データ処理システムの開発 Facilitating Structure Analyses from Protein Microcrystals by Automated Data Processing 東京大学 大学院理学系研究科 Graduate School of Science, The University of Tokyo	山下 恵太郎 YAMASHITA Keitaro	321
新分野創成利用課題報告 ナノスケール実スピンデバイス開発に向けた新しい放射光利用 Initiative Study of Nano-Spin Devices Led by the Use of Advanced Synchrotron Light Source 東北大学 電気通信研究所 Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University 名古屋工業大学 大学院工学研究科 Department of Electrical and Mechanical Engineering, Nagoya Institute of Technology 東京大学 大学院工学系研究科 Department of Applied Physics, The University of Tokyo	大野 英男 OHNO Hideo 壬生 攻 MIBU Ko 千葉 大地 CHIBA Daichi	326
長期利用課題報告 1 スピントロニクスデバイスの外場誘起スピン秩序現象の可視化 Visualization of Voltage and Current Driven Spin Order in Spintronic Devices 京都大学 化学研究所 Institute for Chemical Research, Kyoto University	小野 輝男 ONO Teruo	331
長期利用課題報告 2 P 型 ATPase の結晶構造解析 Crystal Structure Analysis of P-type ATPases 東京大学 定量生命科学研究所 Institute for Quantitative Biosciences, The University of Tokyo	豊島 近 TOYOSHIMA Chikashi	335
2. 研究会等報告 / WORKSHOP AND COMMITTEE REPORT		
第 67 回デンバー X 線会議 (DXC2018) 報告 Report on the 67th Annual Conference on Applications of X-ray Analysis (Denver X-ray Conference, DXC2018) (公財) 高輝度光科学研究センター 利用研究促進部門 Research & Utilization Division, JASRI	今井 康彦 IMAI Yasuhiko	343
International Conference on X-Ray Microscopy (XRM2018) 会議報告 Report on the International Conference on X-ray Microscopy (XRM2018) (公財) 高輝度光科学研究センター 利用研究促進部門 Research & Utilization Division, JASRI	上杉 健太郎 UESUGI Kentaro	347
第 34 回欧州表面科学会議 (ECOSS34) 報告 Report on the 34th European Conference on Surface Science (ECOSS34) (公財) 高輝度光科学研究センター 利用研究促進部門 Research & Utilization Division, JASRI	室 隆桂之 MURO Takayuki	350
SPring-8 シンポジウム 2018 報告 SPring-8 Symposium 2018 Report Spring-8 ユーザー協団体 (SPRUC) 行事幹事 / 兵庫県立大学 大学院物質理学研究科 Graduate School of Material Science, University of Hyogo 広島大学 大学院理学研究科 Graduate School of Sciences, Hiroshima University	田中 義人 TANAKA Yoshito 木村 昭夫 KIMURA Akio	353
第 15 回 SPring-8 産業利用報告会 The 15th Joint Conference on Industrial Applications of SPring-8 (公財) 高輝度光科学研究センター 産業利用推進室 Industrial Application Division, JASRI	佐藤 真直 SATO Masugu	364

第2回 International SACLA Users' Meeting 会議報告 Report on the 2nd International SACLA Users' Meeting	(公財) 高輝度光科学研究センター XFEL 利用研究推進室 XFEL Utilization Division, JASRI 登野 健介 TONO Kensuke	大和田 成起 OWADA Shigeki 犬伏 雄一 INUBUSHI Yuichi 藪内 俊毅 YABUCHI Toshinori	369
第2回 SPring-8 秋の学校を終えて The 2nd SPring-8 Autumn School	SPring-8 ユーザー協同体 (SPRUC) 利用幹事 / (国) 量子科学技術研究開発機構 量子ビーム科学研究部門 Quantum Beam Science Research Directorate, National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology	大和田 謙二 OHWADA Kenji	372
3. SPring-8/SACLA 通信 / SPring-8/SACLA COMMUNICATIONS			
2019A 期の SPring-8 における成果非専有の産業利用分野向けの課題について List of Non-Proprietary Proposals for Industrial Application in 2019A	登録施設利用促進機関 (公財) 高輝度光科学研究センター Registered Institution for Facilities Use Promotion, JASRI		376
2019A 期 SPring-8 利用研究課題募集について Call for 2019A SPring-8 Research Proposals	登録施設利用促進機関 (公財) 高輝度光科学研究センター Registered Institution for Facilities Use Promotion, JASRI		377
2019A 期 SACLA 利用研究課題の募集について Call for 2019A SACLA Research Proposals	登録施設利用促進機関 (公財) 高輝度光科学研究センター Registered Institution for Facilities Use Promotion, JASRI		378
第42回 (2018B) SPring-8 利用研究課題の採択について The Proposals Approved for Beamtime in the 42th Research Term 2018B	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		379
2018B 期 採択「新分野創成利用」研究グループの紹介 2018B Newly Approved Research Groups for SPring-8 Epoch-Making Initiatives Projects	(公財) 高輝度光科学研究センター 利用推進部 User Administration Division, JASRI		384
第41回共同利用期間 (2018A) において実施された SPring-8 利用研究課題 2018A Proposal and User Statistics	登録施設利用促進機関 (公財) 高輝度光科学研究センター 利用推進部 Registered Institution for Facilities Use Promotion, User Administration Division, JASRI		386
2015B 期 採択「新分野創成利用」における研究グループの事後評価について Post-Project Review of Research Group for Epoch-Making Initiatives Projects Starting in 2015B	(公財) 高輝度光科学研究センター 利用推進部 User Administration Division, JASRI		391
2015A 期 採択長期利用課題の事後評価について - 2 - Post-Project Review of Long-term Proposals Starting in 2015A -2-	(公財) 高輝度光科学研究センター 利用推進部 User Administration Division, JASRI		394
2016A 期 採択長期利用課題の事後評価について - 2 - Post-Project Review of Long-term Proposals Starting in 2016A -2-	(公財) 高輝度光科学研究センター 利用推進部 User Administration Division, JASRI		396
2018B 期 SACLA 利用研究課題の採択について The SACLA Public Proposals Approved for Beamtime in 2018B 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		398
2018A 期において実施された SACLA 利用研究課題 (共用課題) について The SACLA Public Proposals and User Statistics in 2018A 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		400
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		401
論文発表の現状 Statistics on Publications Resulting from Work at SPring-8	(公財) 高輝度光科学研究センター 利用推進部 User Administration Division, JASRI		403
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		407
2018A 期における SPring-8/SACLA ユーザー要望等について SPring-8/SACLA User Requests in 2018A	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		428
SPring-8/SACLA 利用研究成果集におけるクリエイティブ・コモンズライセンスの導入について Creative Commons Licence for SPring-8/SACLA Research Report	(公財) 高輝度光科学研究センター 利用推進部 User Administration Division, JASRI		431
4. 談話室・ユーザー便り / USER LOUNGE・LETTERS FROM USERS			
SPring-8 ユーザー協同体 (SPRUC) 四季報 SPRUC Communications	SPring-8 ユーザー協同体 (SPRUC) 会長 / 関西学院大学 理工学部 School of Science and Technology, Kwansai Gakuin University	水木 純一郎 MIZUKI Jun'ichiro	432

## 社会経済における正義とイノベーション

公益財団法人高輝度光科学研究センター  
理事長 土肥 義治

2010年にNHK教育テレビで放映された「ハーバード白熱教室」は、サンデル教授のハーバード大学における政治哲学の対話型講義の収録であり、議論の内容が大きな反響を呼んだ。人間はどう生きるべきか、社会はどうあるべきかなど哲学的な原理を深く考えさせることが白熱教室の目的であり、ご覧になった方も多いと思う。

政治哲学を復興したのがハーバード大学のロールズであり、1971年に著書の正義論の中で不平等の是正を基本とする公正な社会像を提示した。ロールズは、社会の全構成員が無知のベールをかけた原初状態で合意できる社会契約原理を明らかにして、福祉政策の正当性を示した。ロールズの正義は二つの原理からなり、第一原理は基本的自由の平等原則である。第二原理は、公正な機会均等下での経済的な不平等は許容されるが、最も不遇な立場にある人の便益を最大化すべきという格差原則である。

ロールズ正義論以前は、十八世紀にベンサムによって提唱された「最大多数の最大幸福」という結果重視の功利主義が長く政治哲学で中心的な位置を占め、経済学などに多大な影響を与えてきた。

イギリスのアダム・スミスは、不朽の名著である道徳感情論(1759)と国富論(1776)を刊行して、自由と平等を基本とする人間社会において秩序と繁栄は同時達成できることを明快に示した。倫理学の道徳感情論において、社会の中で生きる人間は、他人の感情や行為に関心を持ち、他人の感情を自分の心の中に写し取り、その感情を共有しようとする共感能力が人間の本性にあることを明らかにした。各人はこの共感能力によって心の中に公平な観察者を形成し、観察者の是認が得られるよう自律的に正義感を養い、道徳律と法律によって社会の秩序が実現できるとした。

経済学の国富論において、市場経済の発達には、社会的分業を基本として労働生産性を高め、資本の蓄積

を増大させ、公正な交換市場を形成することが重要であるとした。市場では価格という非人格的な指標によって財の交換と配分が予定調和的に行われ、一方、人間の利己心によって市場は拡大し資本が増大し、結果として社会が繁栄することを明示した。このように、スミスは自由主義社会の秩序と繁栄が人間の本性によって実現できることを示したのである。

しかしながら、市場経済は供給と需要の調和の乱れによって、景気変動し不況時に大量の失業者を生み出した。マルクスが逝去した1883年に、二十世紀を代表する経済学者のケインズとシュンペーターが出生した。ケインズは、1936年に発表した一般理論の中で不況時に需要が不足するために失業が出ることを明らかにして、有効需要の拡大のために政府公共投資を増大して雇用問題を解決すべきと提案した。ケインズ政策は、短期的な不況対策として有効であるが、長期的な経済発展政策としては力不足である。

シュンペーターは、1912年に経済発展の理論を刊行して、経済発展の本質はイノベーションによる市場の動的な進化であり、特に技術革新による新製品の開発と新市場の創設が重要であることを指摘した。1939年に景気循環論を発表して、三つの景気の波の底が同時に進行した場合に大恐慌が発生することを示した。景気変動による不況は非効率な生産供給を排除するプロセスであり、古きものを破壊して新しいものを創造する創造的破壊によって市場経済が進化するという。

今世紀の先進国経済は技術革新の時代に入っており、ケインズ政策だけでは国際競争の中で斜陽の道を辿らざるを得ない。新しい科学技術を生み出し、新しい製品を作り出し、新しい市場を開拓するイノベーション経済と公正な福祉社会との融合が二十一世紀の国家像である。SPRING-8とSACLAは、進化するイノベーション経済への多面的な貢献が求められている。

専用ビームラインの研究から  
 ～BL23SU（日本原子力研究開発機構）～

## 軟 X 線磁気円二色性で明らかになった $\text{CeFe}_2$ の特異な 4f 磁性

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構  
 物質科学研究センター 齋藤 祐児

### Abstract

BL23SU (JAEA 重元素科学 II) では、挿入光源をツインヘリカルアンジュレータに更新後、高い測定精度を武器に、様々な磁性材料に対する内殻吸収磁気円二色性の利用研究を進めて来た。本稿では、 $\text{CeFe}_2$  に対する応用例を紹介する。これにより、その 4f 電子が温度や磁場変化に対し極めて敏感であるという、他の手法では抽出が困難な、特異な磁氣的性質を有することが判明した。

### 1. はじめに

日本原子力研究開発機構 (JAEA: Japan Atomic Energy Agency) の専用軟 X 線ビームライン BL23SU (JAEA 重元素科学 II) では、平成 22 年 1 月から、現在の挿入光源である真空封止型ツインヘリカルアンジュレータの 1 Hz 円偏光反転モードを用い、内殻吸収スペクトル (XAS: x-ray absorption spectroscopy) における磁気円二色性 (XMCD: x-ray magnetic circular dichroism) 測定を開始した。その直後には、RI 実験棟内の XMCD 装置において、それ以前から 1 桁以上の精度向上を達成し、控えめに言って世界トップクラスの測定精度を実現した<sup>[1]</sup>。以来、U 化合物<sup>[2,3]</sup>に加えて、外部ユーザーを主体とするスピントロニクス関連材料等の研究を進めて来た<sup>[2,22]</sup>。

本稿では、最近の  $\text{CeFe}_2$  の XMCD 研究<sup>[23]</sup>で明らかになった、Ce 4f 電子の特異な磁性について大まかに紹介する。希土類やアクチノイド化合物が示す磁性、超伝導等の多様な物性は、局在性の強い f 電子の固体中での非局在性/不安定性に由来すると考えられ、長年の研究テーマとなっている<sup>[24]</sup>。Ce は固体中で、 $\text{Ce}^{3+}$  (4f<sup>1</sup> 電子配置、磁性イオン) と  $\text{Ce}^{4+}$  (4f<sup>0</sup>、非磁性イオン) の中間の原子価を取り得ることが知られている。なお、U 化合物の物性には、 $\text{U}^{3+}$  (5f<sup>3</sup>) ~  $\text{U}^{6+}$  (5f<sup>0</sup>) が関係しており、その理解のためには、Ce 4f 電子状態の理解が基礎となる。

$\text{CeFe}_2$  は、常圧下で  $T_C \sim 230$  K の強磁性体 (磁石にくっつく) である。他の希土類系列物質と比べて、磁

気モーメントが小さく、 $T_C$  が 300 K 以上低いことから数多くの研究がなされており、20 年程前迄に Ce の価数が約 3.3 で 4f 電子の顕著な非局在性がそれらの物性の起源であることが分かっている。本物質では、わずかな圧力印加や少量の Fe 置換により、低温で反強磁性相が現れるという特異な物性を示し (温度を下げて、磁石にくっついてた物が、くっつかなくなることは非常に珍しい)、その起源解明のための研究が続いている。この様な現象は、格子定数が減少する場合だけで無く、増加する (固体効果が減少し、孤立  $\text{Ce}^{3+}$  に近づくと考えられる) 場合においても観測されるため、4f 電子の非局在性が直接的な起源では無い<sup>[25]</sup>。最近の磁性についての半古典的モデルによる理論研究の結果は、本物質系の磁気相図に定性的な説明を与えるものの、温度降下による強磁性-反強磁性転移を記述できていない<sup>[25]</sup>。この結果は、常圧の  $\text{CeFe}_2$  の段階で既に、Ce と Fe の両方またはどちらかの電子状態や磁氣的性質に、未知の特異な温度変化が存在し、その場合には、磁場変化をも伴うはずであると感じられた。そのため、純良単結晶の入手も相まって XMCD の温度及び、磁場依存性測定を実施した。

### 2. XMCD の原理

磁性体に光を入射した際、その磁化に対する左右の円偏光の内殻吸収強度が異なる性質が XMCD であり、元素と軌道を選択して磁性情報を得ることができる。その原理については、本ビームラインのヘビーユーザーでも

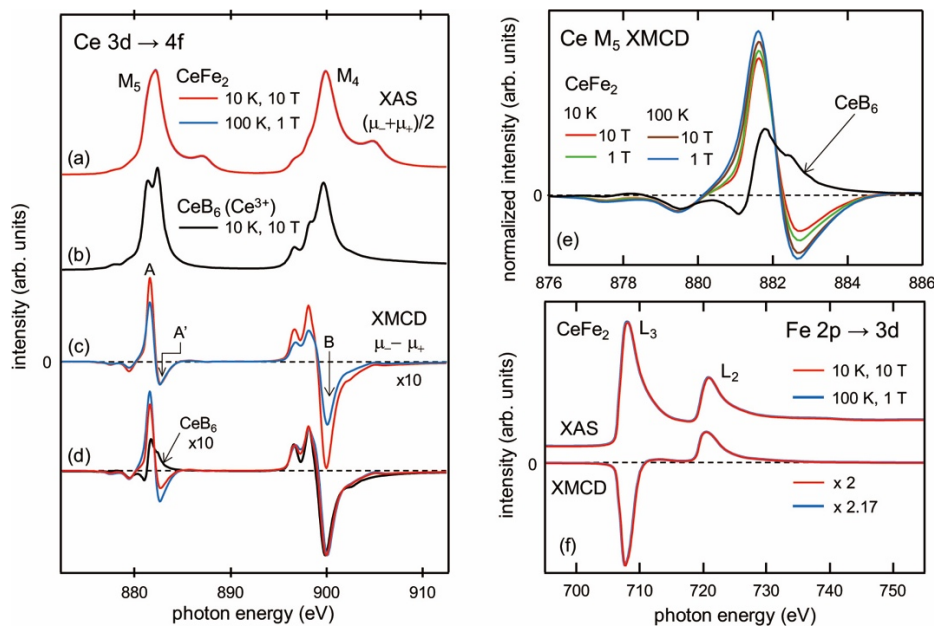


図1 CeFe<sub>2</sub>及び、CeB<sub>6</sub>のXASとXMCD実験スペクトル。(d)と(e)では、ピークBの強度で規格化。

ある木村昭夫教授（広島大学大学院）による最近の優れた解説記事<sup>[20]</sup>を参照されたい。軟X線領域のXMCD実験では、磁性の主役を調べるため、3d遷移金属のL<sub>2,3</sub>(2p→3d)吸収端、希土類元素のM<sub>4,5</sub>(3d→4f)端が主要な測定対象であるが、この解説記事では、磁性の脇役である非磁性元素の微弱なXMCDの精密測定を基に、詳細な議論が可能となった実例<sup>[17]</sup>も紹介されている。また、この解説記事では触れられていないd→f遷移確率については、文献[27]を参照されたい。

### 3. 実験

BL23SUのXMCD装置において、CeFe<sub>2</sub>単結晶試料を真空中で劈開し、超伝導マグネットにより放射光と平行に[111]方向に磁場(H = ±10 Tまで)を印加し、全電子収量法で測定を行った。

### 4. 結果と考察

図の構成と順序が異なるが、図1(f)は、同一強磁性相内の(温度T = 10 K、磁場H = 10 T)と(100 K、1 T)で測定したCeFe<sub>2</sub>のFe L<sub>2,3</sub>端のXASとXMCDスペクトルである。そして、図2(a)に、10 Kと100 Kにおける、Fe L<sub>3</sub> XMCDピーク強度の磁場依存性を示した。通常のXMCD実験では、XASとXMCD共にスペクトル形状には変化が無く、XMCDの振幅のみが温度や磁場依存性を示すことが圧倒的に多く、

この場合、一定温度でのXMCD強度の磁場依存性は、単純に元素と軌道選択的(この場合Fe 3d)等温磁化曲線と見なすことができる。得られたデータは共に強磁性的な振る舞いであり、図2(a)の挿入図のバルクの磁化(M)測定データと矛盾無く、目立った特異性は無い。

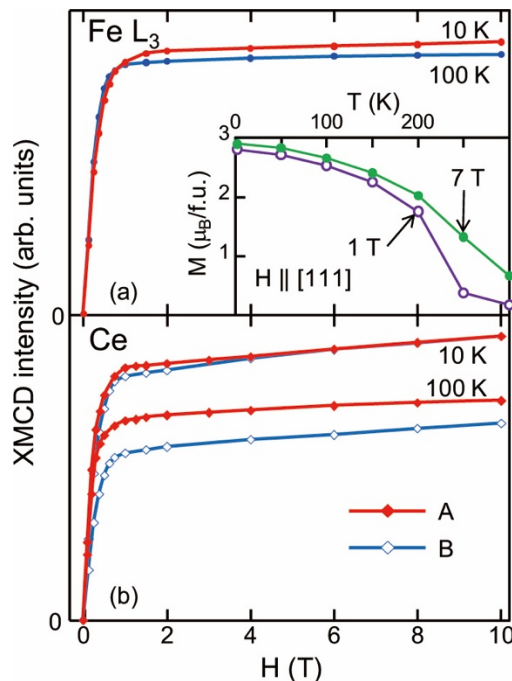


図2 (a) Fe L<sub>3</sub> XMCDピーク強度の磁場依存性。挿入図：バルク磁化(M)の測定結果。(b) Ce M<sub>4,5</sub> XMCDのピークAとBの強度の磁場依存性。

図 1 (a), (c)は、図 1(f)と同じ条件下での CeFe<sub>2</sub>の Ce M<sub>4,5</sub>端の XAS と XMCD スペクトルである。一見で分かるのは、XAS 形状には変化が無い一方で、XMCD は一様な振幅変化では無いことである。この様な実験結果は、均一な物質においては、前例が見当たらない。この XMCD の形状は、図 1(d)の様に M<sub>4</sub>端の XMCD ピーク B で強度を規格化することにより、M<sub>5</sub>端で変化が顕著であり、更に、図 1(e)に示す様に、系統的な温度及び、磁場依存性を示す。

図 2(b)は、図 1(c)のピーク A と B に対して図 2(a)と同様の測定を行い、(10 K, 10 T) の値で規格化した結果であり、両者の振る舞いに明瞭な違いが観測された。また、両方のピーク共に、図 2(a)よりも大きな温度依存性を示しているが、その一方で図 1(c)のピーク A'の振幅は、図 1(e)の 4 つの条件下でほぼ一定であり、もはや Ce 4f モーメントの等温磁化曲線の枠に収まっていない。この様な実験結果の定量的な解析は、筆者等の力量をはるかに超えてしまったのであるが、定性的な解釈を以下の様に試みた。

図 1(b), (d), (e)に Ce<sup>3+</sup>の参照スペクトルとして、CeB<sub>6</sub>に対する実験データを示している。その単純で無い形状は、Ce<sup>3+</sup>イオンの 3d<sup>10</sup>4f<sup>1</sup> → 3d<sup>9</sup>4f<sup>2</sup>電気双極子遷移による多重項構造 (3d と 4f が共に不完全殻なので、クーロン及び、交換相互作用が働く) として説明される<sup>[28]</sup>。ここで、Ce<sup>3+</sup>イオンは基底状態でフントの規則による J = 5/2 の全角運動量を持つ。

4f 電子の非局在化に伴い Ce M<sub>4,5</sub> 端の XAS と XMCD スペクトル形状が変化し得ること自体は、20 年以上前に、内殻分光実験の解析に広く用いられている不純物モデルを基に明らかにされている<sup>[29]</sup>。具体的には、Ce 4f 基底状態で 4f<sup>1</sup> (J = 5/2) に 4f<sup>0</sup> が加わるだけでなく、4f<sup>1</sup> (J = 7/2) 状態も混入することに由来する。この J = 7/2 状態は Ce<sup>3+</sup>イオンの基底状態から約 0.3 eV の励起状態である。その結果、

- 4f<sup>0</sup>成分が、XAS の高エネルギー側のサテライトピークを生じる (≒異なる価数のケミカルシフト)。
- J = 7/2 成分は、J = 5/2 成分とは異なる多重項構造の XAS と XMCD スペクトルを生じるため、XAS メインピークの微細構造を不鮮明化すると共に、主に M<sub>5</sub>端の XMCD 形状変化を引き起こす。

従って、今回の Ce に関する実験結果は、以下の様に見なすことができる。

- 図 1(a)から、Ce 4f 電子数 (並びに、上記 3 成分の割合) が温度及び、磁場に依らず一定。
- 図 1(d), (e)から、J = 5/2 と 7/2 成分は磁氣的に異なる温度及び、磁場依存性を示し、温度上昇及び、磁場減少と共に J = 7/2 成分の相対寄与が増加する。Ce<sup>3+</sup>イオン (J = 5/2) の磁化の温度及び、磁場依存性が、Brillouin 関数 B<sub>J</sub>(x)を使って表されることは、局在磁性理論の初歩として良く知られているが、仮に J = 7/2 状態が基底状態である場合と比較したのが図 3 であり、両成分の振る舞いが同じで無いことが分かる。ここで、

$$H_{Ce} = H + H_m$$

は、(外部) 磁場 H と Weiss 分子場 H<sub>m</sub>による単純な有効局所磁場と考える。H<sub>m</sub>の主要素は Fe 3d 磁化であり、図 2(a)から 10 K と 100 K とで大差は無い。従って、この図 3 は、高温で J = 7/2 成分の相対寄与が増加するという実験結果の定性的説明を与える。

磁場依存性については、図 3 を頼りにするだけでは無く、J = 5/2 と 7/2 の磁氣的相互作用の違いについ

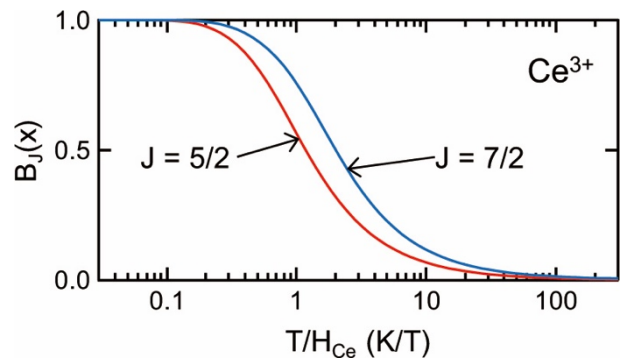


図 3 Brillouin 関数の比較。

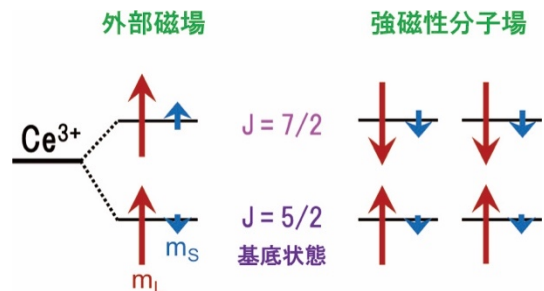


図 4 外部磁場及び、強磁性分子場による Ce 4f 磁気モーメント配列。

での考察を必要とする。この2つの  $J$  状態は、スピン軌道相互作用による分裂であり、図4左側に示す様に、 $J=5/2$  ではスピン磁気モーメント ( $m_s$ ) と軌道磁気モーメント ( $m_l$ ) は反平行 ( $m_l/m_s = -4$ )、 $J=7/2$  では平行 ( $m_l/m_s = 3$ ) である。外部磁場は、双方の全磁気モーメント ( $m_l + m_s$ ) を平行に揃える。一方で、強磁性分子場は、Heisenberg モデルとの関係により、同図右側に示す様に、原子間のスピン磁気モーメントを揃えた、 $J=5/2$  と  $7/2$  の全磁気モーメントが反平行となる (一見奇妙な) 状態を安定化する。従って、両成分が混ざった強磁性  $4f$  状態に外部磁場を印加すると、 $J=5/2$  成分はより安定化する一方で、 $J=7/2$  成分はその磁化が減少 (キャンセル) することになり、実験結果とコンシステントと言える。即ち、今回の Ce に対する実験データは、非局在性の強い  $4f$  電子を持つ強磁性体に特有の、他の実験手法では明確に抽出できない現象であると考えられる。

先に触れた、本物質系における磁気的な不安定性に関する理論研究<sup>[25]</sup>では、Ce の中間原子価状態は考慮されていないが、反強磁性相の出現には Ce-Ce 間の磁気的相互作用が重要であることが示されている。ほとんど全ての  $3d$  遷移金属-希土類磁石では、 $3d-3d$  及び  $3d-4f$  相互作用が支配的で、 $4f-4f$  相互作用は無視して差し支えない<sup>[30]</sup>。今回の実験データと磁気的不安定性がどの程度関連しているかは現時点でも定かでは無いが、今後の CeFe<sub>2</sub> 及び関連物質の研究に新たな進展のきっかけを与えていると期待したい。

## 5. まとめ

本稿では、強磁性体 CeFe<sub>2</sub> の高精度軟 X 線 XMCD 研究を紹介した。同一強磁性相内において、Fe  $3d$  状態に特異性は無いものの、Ce  $M_{4,5}$  ( $3d \rightarrow 4f$ ) 端 XAS 形状 (即ち  $4f$  電子数) に変化が無いにもかかわらず、XMCD 形状が温度及び、磁場依存性を示すという均一な物質では非常に珍しい、予想を超越したデータを得た。その起源は、 $4f$  電子の顕著な非局在性により、Ce<sup>3+</sup> の  $J=5/2$  と  $7/2$  の2つの成分が磁性に関与しており、両成分の異なる磁気的性質によって定性的に理解できることが分かった。このことは、本物質系にお

いて未説明の問題として残る、磁気的不安定性に関連すると考えられる。

BL23SU の高精度 XMCD を磁性研究のスタンダードツールの一つとして今後も威力を発揮し続けたいと考えている。

## 謝辞

本研究は、保井晃氏 (高輝度光科学研究センター)、淵本寛人氏、中谷泰博氏、藤原秀紀氏、関山明氏 (大阪大学)、今田真氏 (立命館大学)、鳴海康雄氏、金道浩一氏 (東京大学)、高橋稔氏、海老原孝雄氏 (静岡大学) との共同研究である。XMCD 測定は SPring-8 の BL23SU で実施した (課題番号 2011B3834、2012A3834、2012B3834)。また、JSPS 科研費 (JP20102003、JP16H01074、JP23740240、JP16H04014) の助成を受けている。

## 参考文献

- [1] Y. Saitoh *et al.*: *J. Synchrotron Radiat.* **19** (2012) 388-393.
- [2] Y. Takeda *et al.*: *Phys. Rev. B* **88** (2013) 075108.
- [3] Y. Takeda *et al.*: *Phys. Rev. B* **97** (2018) 184414.
- [4] K. Ito *et al.*: *Appl. Phys. Lett.* **98** (2011) 102507.
- [5] K. Ito *et al.*: *Appl. Phys. Lett.* **99** (2011) 252501.
- [6] M. Ye *et al.*: *Phys. Rev. B* **85** (2012) 205317.
- [7] M. Ye *et al.*: *J. Phys.: Condens. Matter* **25** (2013) 232201.
- [8] T. Harano *et al.*: *Appl. Phys. Lett.* **102** (2013) 222404.
- [9] K. Ito *et al.*: *Appl. Phys. Lett.* **103** (2013) 232403.
- [10] K. Ito *et al.*: *Appl. Phys. Lett.* **115** (2014) 17C712.
- [11] G. Shibata *et al.*: *Phys. Rev. B* **89** (2014) 235123.
- [12] Y. Takahashi *et al.*: *Phys. Rev. B* **90** (2014) 024423.
- [13] M. Kobayashi *et al.*: *Appl. Phys. Lett.* **105** (2014) 032403.
- [14] K. Sumida *et al.*: *Phys. Rev. B* **91** (2015) 134417.
- [15] K. Ishigami *et al.*: *Phys. Rev. B* **92** (2015) 064402.
- [16] K. Ito *et al.*: *J. Appl. Phys.* **117** (2015) 193906.
- [17] M. Ye *et al.*: *Nat. Commun.* **6** (2015) 8913.
- [18] Y. K. Wakabayashi *et al.*: *Sci. Rep.* **6** (2016) 23295.
- [19] Y. K. Wakabayashi *et al.*: *Phys. Rev. B* **95** (2017) 014417.
- [20] Y. K. Wakabayashi *et al.*: *Phys. Rev. B* **96** (2017) 104410.
- [21] K. Nagai *et al.*: *Phys. Rev. B* **97** (2018) 035143.
- [22] F. Takata *et al.*: *Phys. Rev. Materials* **2** (2018) 024407.
- [23] Y. Saitoh *et al.*: *Phys. Rev. B* **96** (2017) 035151.



- [24] 例えば、S. Wirth and F. Steglich: *Nat. Rev. Mater.* **1** (2016) 16051.  
 [25] J. Wang *et al.*: *Phys. Rev. B* **86** (2012) 014422.  
 [26] 木村昭夫：放射光 **28** (2015) 243-252.  
 [27] S. Imada and T. Jo: *J. Phys. Soc. Jpn.* **59** (1990) 3358-3373.  
 [28] 例えば、Y. Saitoh *et al.*: *J. Phys. Soc. Jpn.* **85** (2016) 114713.  
 [29] M. Finazzi *et al.*: *Phys. Rev. Lett.* **75** (1995) 4654-4657.  
 [30] M. D. Kuz'min *et al.*: *Phys. Rev. B* **70** (2004) 172412.

齋藤 祐児 SAITOH Yuji

(国) 日本原子力研究開発機構 物質科学研究センター  
 〒679-5148 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1  
 TEL : 0791-58-2601  
 e-mail : ysaitoh@spring8.or.jp

BL23SU ならびに BL22XU のご利用を希望される方は、  
 JAEA 微細構造解析プラットフォーム事務局 (harima-usersoffice[at]jaea.go.jp) に御相談ください。  
 利用相談は随時無料で受け付けています。  
 装置の概要や利用方法については、JAEA 研究連携成果展開部ホームページをご覧ください。  
<https://tenkai.jaea.go.jp/facility/index.html>  
<https://tenkai.jaea.go.jp/facility/3-facility/05-support/index-141.html>

専用ビームラインの研究から  
 ～BL24XU (兵庫県)～

## 多波近似条件近傍での明視野 X 線トポグラフィ

兵庫県立大学 大学院物質理学研究科  
 津坂 佳幸、鶴丸 哲也、水落 博之  
 鎌本 春花、藤田 優  
 兵庫県立大学 放射光ナノテクセンター  
 松井 純爾

### Abstract

明視野 X 線トポグラフィを、サファイア結晶の転位観察に適用した。通常の X 線トポグラフィでは回折像の撮像を行うが、明視野トポグラフィでは透過像を撮像する。このとき、複数の回折面で回折が生じる多波回折条件近傍で撮像すると、回折ベクトルを変更しても結晶の位置や形状が変化することのない像が得られる。結晶による吸収がそれほど大きくない場合 ( $\mu t \sim 1$ ) は、透過像と回折像は相補的であるため、通常の Lang 法と同様に転位のバーガスベクトルが決定できる。また、検出器に可視変換型の CMOS カメラを用いると、その高空間分解能や検出感度の広い直線性から、 $10^5/\text{cm}^2$  程度の転位密度の試料まで転位観察が可能である。加えて回折条件からわずかに外した像を用いて数値処理を行うと、ビームの強度ムラのない像を得ることができる。

### 1. はじめに

X 線トポグラフィは単結晶の欠陥や析出物<sup>1,4</sup>などの転位やその他の欠陥を調べるために広く使用されており、特に転位のバーガスベクトルの決定に有用である。通常トポグラフでは、結晶内の個々の転位を視覚化するために、X 線フィルムや原子核乾板を使用して記録する。各転位のバーガスベクトルは、異なる回折ビームを使用するいくつかの画像からコントラストの消失によって決定されるが、これらの画像は、回折の光学配置に依存して結晶の元の形状から変形する。元の形状を回復するために、トポグラフ上で 1 つまたは 2 つの方向に画像解析ソフトなどを用いて電子的に縮小拡大されるが、この操作は空間分解能を低下させる。2 波近似の X 線回折の動力学理論<sup>3</sup>によると、回折されたビームと前方透過されたビームによって得られる転位像は、結晶の吸収率が小さい場合 ( $\mu t < 1$ 、ここで  $\mu$  は線吸収係数、 $t$  は試料中の X 線ビームの侵入深さである)、コントラストが反転する。以下、前者のビームを用いたトポグラフを暗視野トポグラフ、後者のそれを明視野トポグラフと呼ぶ。したがって、暗視野または明視野トポ

グラフィのいずれかを使用して、転位のバーガスベクトルを決定することができる。Yi らは、明視野透過型電子顕微鏡法 (TEM) と同様に、4H-SiC 結晶の格子歪みを調べるために、明視野 X 線ビームトポグラフィを利用している<sup>5</sup>。

本研究では、複数の回折が同時に生じる多波近似条件近傍で、明視野トポグラフを撮像する。このため、トポグラフ像に形状変形が生じない。コヒーレントな X 線ビームを用いて多波回折を生じさせたときのビームの干渉パターンは、沖津らによる報告があるが<sup>6,7</sup>、本研究で用いたビームはインコヒーレントであるため、トポグラフ像にこれらの干渉パターンが際立つことはない。

### 2. 多波近似条件

完全性が高い結晶に X 線が入射する場合、結晶中には入射方向の波 (O 波) と回折方向の波 (G 波) が生じる。通常の実験条件では結晶中には G 波は 1 つだけであり (その他の波はととても小さい)、O 波と合わせて 2 波近似と呼ばれる。それに対して、特定の指数の回折を考える場合、結晶と入射ビームのアラインメ

ントを精密に調整すると、複数の G 波を励起することができる。この条件が満たされる場合を多波近似条件と呼ぶ。

本実験で用いたサファイア結晶は六方晶であり、例えば、 $4\bar{2}20$ 、 $3\bar{3}00$ 、 $30\bar{3}0$ 、 $1\bar{2}10$ 、 $11\bar{2}0$  の 5 つの回折波を同時に励起することができる。この場合、0 波と合わせて結晶中に 6 つの波が生じるため 6 波近似と言う。同時に回折が生じる場合を実空間で説明すると以下の通りである。図 1(a)のように六方晶の  $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 、 $c$  軸をとる。また、図 1(b)に示すように、 $(4\bar{2}20)$ 、 $(3\bar{3}00)$ 、 $(30\bar{3}0)$ 、 $(1\bar{2}10)$ 、 $(11\bar{2}0)$ 面に平行な面をとる。図 1(c)のように  $xyz$  座標をとると、図 1(b)の矢印で示した 5 つの面の法線ベクトルは、 $(4\bar{2}20)$ 面から順に、 $(0, 1, 0)$ 、 $(0, \cos 30^\circ, \sin 30^\circ)$ 、 $(0, \cos 30^\circ, -\sin 30^\circ)$ 、 $(0, \cos 60^\circ, -\sin 60^\circ)$ 、 $(0, \cos 60^\circ, \sin 60^\circ)$ で表される。以下同時に生じる回折に関して、 $4\bar{2}20$ 回折と  $3\bar{3}00$ 回折のみについて述べる。 $4\bar{2}20$ 回折のブラッグ角を  $\theta_{4\bar{2}20}$  とし、結晶を図 1(b)の状態から  $z$  軸まわりに  $\theta_{4\bar{2}20}$  だけまわすと、 $(4\bar{2}20)$ 、 $(3\bar{3}00)$ 面の法線ベクトルはそれぞれ、 $(-\sin \theta_{4\bar{2}20}, \cos \theta_{4\bar{2}20}, 0)$ 、 $(-\sin \theta_{4\bar{2}20} \cdot \cos 30^\circ, \cos \theta_{4\bar{2}20} \cdot \cos 30^\circ, \sin 30^\circ)$ となる (図 1(d)参照)。X 線と回折面のなす角は、X 線方向ベクトルと回折面の法線ベクトルの内積を使って求めることができる。図 1(e)のように、X 線方向ベクトルと回折面の法線ベクトルのなす角を  $\theta$ 、X 線方向ベクトルと回折面のなす角を  $\alpha$  とする。方向ベクトル、法線ベクトル共に大きさは 1 だから、その内積は、

$$\cos \theta = \cos(90^\circ + \alpha) = -\sin \alpha$$

である。これを先程の  $\theta_{4\bar{2}20}$  だけ回転した  $(4\bar{2}20)$ 面の法線ベクトル  $\mathbf{n}_1(-\sin \theta_{4\bar{2}20}, \cos \theta_{4\bar{2}20}, 0)$  と X 線方向ベクトル  $\mathbf{l}(1, 0, 0)$  に適用すると、

$$\mathbf{n}_1 \cdot \mathbf{l} = -\sin \theta_{4\bar{2}20}$$

これが、 $-\sin \alpha$  に等しいので、 $\theta_{4\bar{2}20} = \alpha$  と当然の結果が得られる。

同様に  $\theta_{4\bar{2}20}$  だけ回転した  $(3\bar{3}00)$ 面の法線ベクトル  $\mathbf{n}_2(-\sin \theta_{4\bar{2}20} \cdot \cos 30^\circ, \cos \theta_{4\bar{2}20} \cdot \cos 30^\circ, \sin 30^\circ)$  と X 線方向ベクトル  $\mathbf{l}(1, 0, 0)$ 、X 線と回折面のなす角  $\alpha_1$  に適用すると、

$$\begin{aligned} \mathbf{n}_2 \cdot \mathbf{l} &= -\sin \theta_{4\bar{2}20} \cdot \cos 30^\circ \\ &= -\frac{\sqrt{3}}{2} \sin \theta_{4\bar{2}20} = -\sin \alpha_1 \end{aligned}$$

である。ブラッグの法則から、 $\sin \theta_{4\bar{2}20} = \lambda/2d_{4\bar{2}20}$  だから、これを上式に代入して、

$$\lambda = \frac{4}{\sqrt{3}} d_{4\bar{2}20} \sin \alpha_1$$

を得る。六方晶では、 $d_{3\bar{3}00} = \frac{2}{\sqrt{3}} d_{4\bar{2}20}$  なので、上式は、

$$\lambda = 2d_{3\bar{3}00} \cdot \sin \alpha_1$$

となり、 $3\bar{3}00$  回折も同時に回折条件を満たすことがわかる。

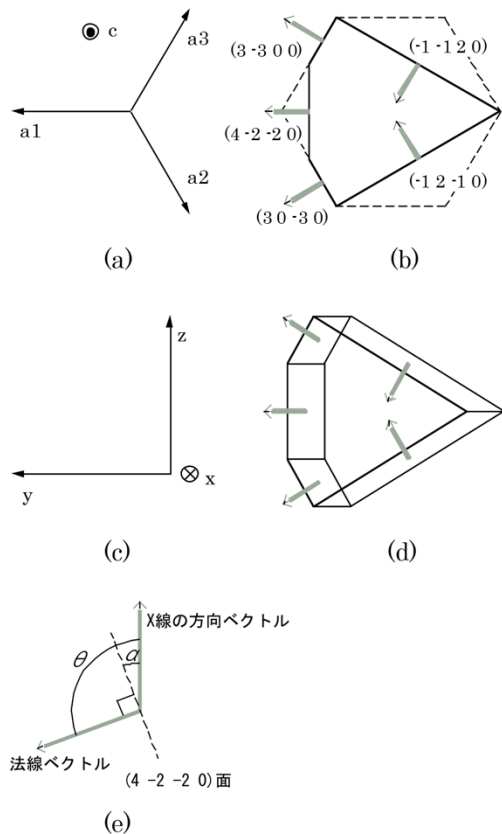


図 1 (a) 六方晶の基本ベクトル、(b)  $(4\bar{2}20)$ 、 $(3\bar{3}00)$ 、 $(30\bar{3}0)$ 、 $(1\bar{2}10)$ 、 $(11\bar{2}0)$ 面、(c) 座標軸、(d) (b)の状態から  $z$  軸周りに  $\theta_{4\bar{2}20}$  だけ回転したときの模式図、(e) 法線ベクトルと方向ベクトルの関係。

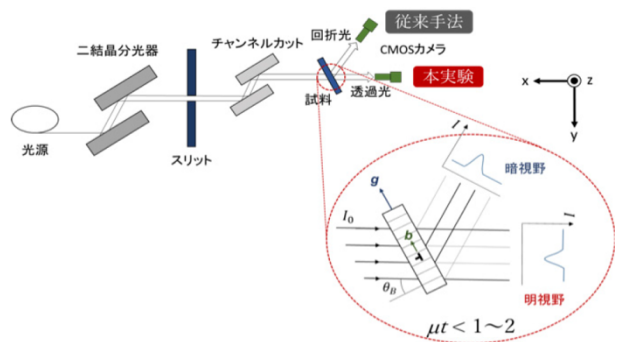


図 2 本実験での実験配置。

### 3. 実験

実験は SPring-8 BL24XU (兵庫県 ID) で行った。二結晶分光器で 15 keV の X 線を選択し、4 象限スリットで  $1 \times 1 \text{ mm}^2$  にビームを整形した。このときの波長幅 ( $\Delta \lambda / \lambda$ ) は  $3 \times 10^{-4}$  である。試料は、鏡面研磨したサファイア単結晶で表面は(0001)面である。撮像は可視変換型の CMOS カメラ (Hamamatsu, C11440-22CU) で、蛍光体には GAGG ( $\text{Gd}_3\text{Al}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}$ ) シンチレータを用いた。この組み合わせで、 $1 \mu\text{m}$  のラインアンドスペースの分離が可能である。その光学配置を図 2 に示す。

図 3(a) は 6 波を励起したときの蛍光板像である。O で示したスポットは、サファイア結晶上の点 P を透過した透過ビームであり、A-E のそれは、それぞれ  $4\bar{2}20$ 、 $3\bar{3}00$ 、 $30\bar{3}0$ 、 $1\bar{2}10$ 、 $11\bar{2}0$  の 5 つの回折ビームである。図 3(a) の状態から OB を結ぶ直線を回転軸に結晶をわずか  $0.1^\circ$  程度回転すると図 3(b) の蛍光板像が得られる。このとき結晶内には入射方向の波と  $3\bar{3}00$  回折の方向の波の 2 波近似が成り立つ。その他の回折も O とその回折スポットを結ぶ直線の周りのわずかな回転で 2 波近似が成立する。このため、回折ベクトルを変更しても入射方向からみた結晶の外形はほとんど変化がなく、また透過ビームを撮像するためトポグラフィ像に現れる転位線の位置や形状も変化しない。

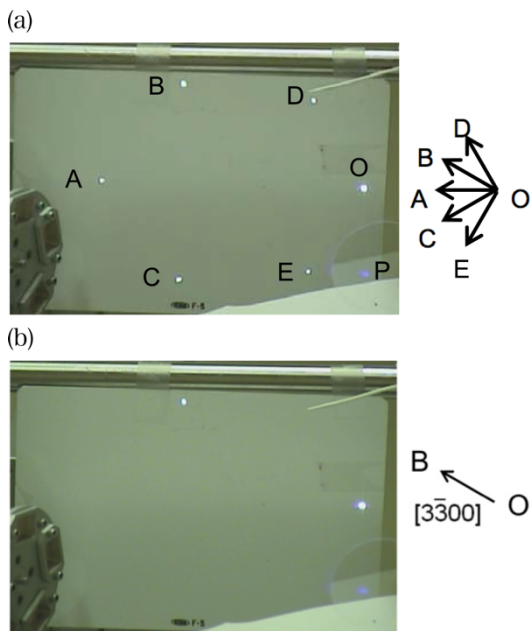


図 3 (a) 6 波近似時の蛍光板像、(b) 2 波近似時の蛍光板像。

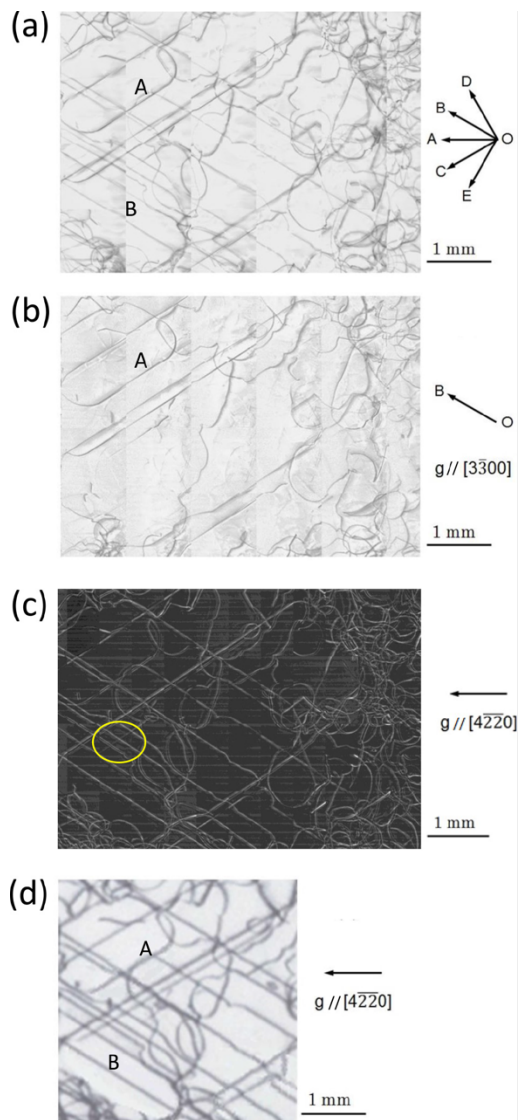


図 4 (a) 明視野 6 波近似条件でのトポグラフィ像。CMOS カメラで撮像。図 3(a) の 6 波を励起した状態で撮像。(b) 明視野 2 波近似条件でのトポグラフィ像。CMOS カメラで撮像。図 3(b) の 2 波を励起した状態で撮像。(c) 暗視野トポグラフィ像。CMOS カメラで撮像。図 3(a) のスポット A を励起した状態で撮像。(d) 実験室光源でのトポグラフィ像。X 線フィルムで撮像。(a)~(c) は水平方向 6 ショット、鉛直方向 5 ショットをつなぎ合わせたもの。(a) と (b) の比較から B で示す転位線のバーガスベクトルが OB 方向に直交し、またこの転位の伸びている方向が OB 方向と平行であるため、刃状転位であることがわかる。(c) の黄色丸で示した領域の転位線の間隔が、(a) の像と比べて広がっていることが確認できる。これは回折像を撮影したため、像の変形が起きていることを示す。(a)~(c) の画像の分解能は、(d) の画像の分解能より格段に向上していることが確認できる。

4. 結果と考察

図 4(a), (b)はそれぞれ図 3(a), (b)の 6 波近似状態と 2 波近似状態でのトポグラフ像で、水平方向 6 ショット、鉛直方向 5 ショットをつなぎ合わせている。これらのトポグラフ像では、転位線の位置や形状に変化がないことがわかる。これは、明視野かつ多波近似近傍でのトポグラフ撮像のためである。

図 4(a)で、A で示された転位線は図 4(b)でも現れているのに対し、B で示された転位線は、図 4(b)ではコントラストが消失していることがわかる。一般に回折ベクトル  $g$  と転位まわりの歪みを表すバーガースベクトル  $b$  が直交するとき、そのコントラストは消失または弱くなる。このことから、B で示した転位線のバーガースベクトルは OB 方向に直交でまた、転位線の伸びている方向が OB 方向であるため、この転位は刃状転位であることがわかる。これは、明視野トポグラフィであっても、通常の Lang 法で用いられる転位のバーガースベクトルの決定が可能であることを示している。

図 4(c)は、 $\sqrt{4220}$  回折のみを励起したときの暗視野トポグラフ像（回折像）で、図 4(a)と同じ領域を撮像している。このトポグラフ像は、おおむね図 4(a)のコ

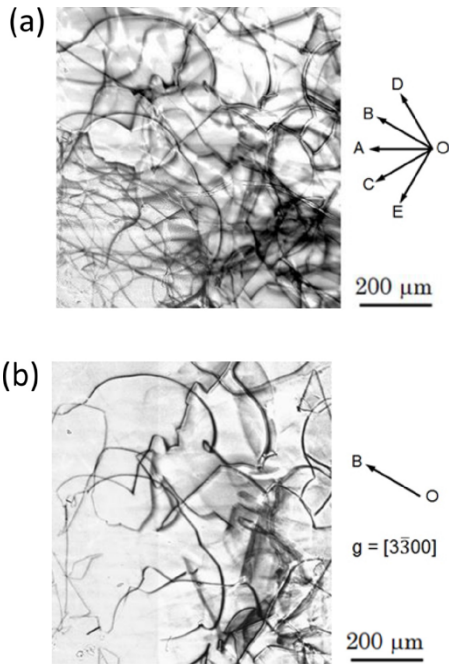


図 5 高転位密度領域のトポグラフ像。(a) 6 波近似条件でのトポグラフ像。(b) 2 波近似条件でのトポグラフ像。下側の領域での転位密度は  $3 \times 10^4 / \text{cm}^2$  程度である。

ントラストの反転であるが、一方、黄色丸で囲った領域の転位線の間隔が広がっていることが確認できる。これは、暗視野トポグラフィでの転位線の形状の変形である。

図 4(d)は実験室光源で X 線フィルムを用いて取得した同じ領域のトポグラフ像である。SPring-8 で CMOS カメラを用いた撮像の空間分解能が高いことがわかる。

図 5(a), (b)は、図 4(a), (b)と同じ条件で比較的転位密度の高い領域を撮像したトポグラフ像の拡大図である。下側の比較的転位密度の高い領域でも個々の転位線が細い線として分離されている。この領域の転位密度は  $3 \times 10^4 / \text{cm}^2$  程度であり、これまで X 線トポグラフィでは分離が難しいとされていた  $10^4 / \text{cm}^2$  でも

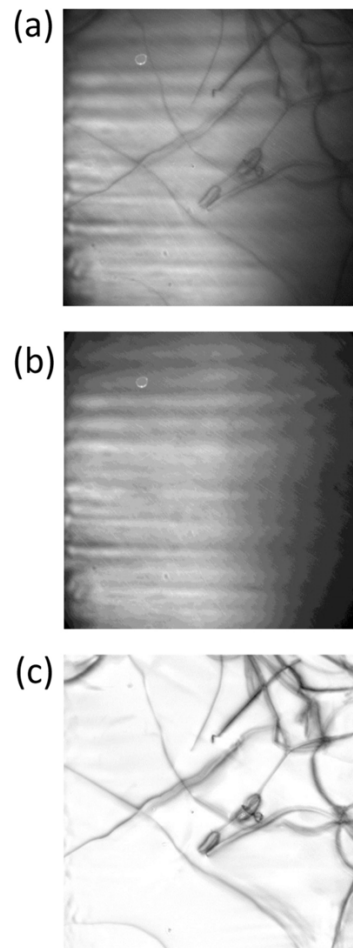


図 6 (a) オリジナルのトポグラフ像、(b) ロッキングカーブのピークから結晶をわずかに回転し、回折条件を満たさない状態で得られたビームの透過像。(a)の強度分布を(b)の強度分布で除して得られた像が(c)である。

撮像可能であることを示している。この要因としては、検出器の空間分解能や検出感度の高い線形性によるところだけでなく、SPring-8の輝度が高いためでもある。CMOSカメラでの1ショットの露光は、数10 msecで十分S/N比の高い画像がリアルタイムで得られる。このためロッキングカーブのピークまたはテールでの撮像も迅速で、転位線を細く撮像できる条件調整が容易であるためである。

放射光を用いたトポグラフィでは、Be窓や分光器が原因の入射ビームの強度ムラがしばしば問題になるが、明視野トポグラフィではその問題も解決可能である。図6(a)はある領域で撮像したオリジナルのトポグラフィ像、図6(b)はロッキングカーブのピークから結晶をわずかに回転し、回折条件を満たさない状態で得られたビームの透過像である。図6(a)の強度分布を図6(b)の強度分布で除して得られた像が図6(c)である。図6(a)と比べて、バックグラウンドの強度ムラが解消されている。

## 5. まとめ

本研究では、多波近似条件近傍での明視野トポグラフィをサファイア結晶に適用し、転位線の観察を行った。高輝度なX線光源を利用し、画像検出器にCMOSカメラを用いることで、以下に述べるメリットがあることを示した。

1. 高輝度放射光を利用し、検出器に高空間分解能・検出感度の高い線形性を持つCMOSカメラを用いることで、高分解能のトポグラフィ像が得られる。これまで $10^4$  / $\text{cm}^2$ 以上の転位密度を持つ試料の観察が困難と考えられていたX線トポグラフィが $10^6$  / $\text{cm}^2$ 程度のその観察まで可能性があることを示す。一方で、電子顕微鏡では $10^6$  / $\text{cm}^2$ 以下の転位密度の試料の観察は困難とされており、観察の難しい領域を簡便な方法で埋める可能性を示した。
2. 回折ベクトルを変更しても転位線の位置や形状が変形することはない。これは、コントラストの消失から判断する転位のバーガスベクトルの決定に大変有用である。
3. 回折ベクトルの変更が容易で、また検出器の移動がないため、異なる回折ベクトル撮像が迅速である。

4. リアルタイム観察が可能であるため、良好なコントラストを得ることができる撮像条件の調整が迅速である。

## 参考文献

- [1] D. K. Bowen and B. K. Tanner: *High Resolution X-Ray Diffraction and Topography* (Taylor & Francis, London, 1998).
- [2] *J. Appl. Phys.* **28**, No.4A, A17-A91 (1995), *Special Issue: X-ray topography and high resolution diffraction.*
- [3] J. M. Yi, J. H. Je, Y. S. Chu, Y. Zhong, Y. Hwu and G. Margaritondo: *Appl. Phys. Lett.* **89** (2006) 074103.
- [4] *J. Japanese Association for Crystal Growth* **54**, No.1 (2012), *Special Issue: Recent Advances in X-ray Topography* [in Japanese].
- [5] For example, A. Authier: *Dynamical Theory of X-Ray Diffraction* (Oxford University Press, Oxford, 2001).
- [6] K. Okitsu: *Acta Crystallogr., Sect. A* **59** (2003) 235-244.
- [7] K. Okitsu, Y. Imai, Y. Ueji and Y. Yoda: *Acta Crystallogr., Sect. A* **59** (2003) 311-316.

### 津坂 佳幸 *TSUSAKA Yoshiyuki*

兵庫県立大学 大学院物質理学研究科  
〒679-1297 兵庫県赤穂郡上郡町光都 3-2-1  
TEL : 0791-58-0231  
e-mail : tsusaka@sci.u-hyogo.ac.jp

### 鶴丸 哲也 *TSURUMARU Tetsuya*

兵庫県立大学 大学院物質理学研究科  
〒679-1297 兵庫県赤穂郡上郡町光都 3-2-1  
TEL : 0791-58-0229  
e-mail : ri16q025@stkt.u-hyogo.ac.jp

### 水落 博之 *MIZUOCHI Hiroyuki*

兵庫県立大学 大学院物質理学研究科  
〒679-1297 兵庫県赤穂郡上郡町光都 3-2-1  
TEL : 0791-58-0229  
e-mail : ri17x025@stkt.u-hyogo.ac.jp

### 鎌本 春花 *KAMAMOTO Haruka*

兵庫県立大学 大学院物質理学研究科  
〒679-1297 兵庫県赤穂郡上郡町光都 3-2-1  
TEL : 0791-58-0229  
e-mail : ri17b007@stkt.u-hyogo.ac.jp

藤田 優 FUJITA Yu

兵庫県立大学 大学院物質理学研究科  
〒679-1297 兵庫県赤穂郡上郡町光都 3-2-1  
TEL : 0791-58-0229  
e-mail : ri18x026@stkt.u-hyogo.ac.jp

松井 純爾 MATSUI Junji

兵庫県立大学 放射光ナノテクセンター  
〒679-5165 兵庫県たつの市新宮町光都 1-49-2  
TEL : 0791-58-1415  
e-mail : matsui@hyogo-bl.jp

産業利用の課題を随時受け付けております。  
詳細につきましては下記ウェブサイトまたは連絡先まで  
お問合せください。  
<http://www.hyogo-bl.jp/>  
兵庫県ビームライン事務局  
TEL : 0791-58-1961  
e-mail : nanochan@hyogo-bl.jp

(SPRUC 2018 Young Scientist Award 受賞 研究報告)

# neV 分解能のガンマ線準弾性散乱法による原子・分子の ナノ・マイクロ秒ダイナミクス II —時空ダイアグラム上でのガンマ線干渉描像—

京都大学 複合原子力科学研究所  
齋藤 真器名

## Abstract

放射光により原子核を励起することによって、放射光の指向性を受け継いだ単色ガンマ線を生成することができる。このガンマ線を用いて時間領域干渉計を構築することによって、電子密度の原子・分子スケールの空間相関の緩和時間をナノ秒～マイクロ秒において測定可能なユニークな準弾性散乱実験を行うことができる。その基本的な原理や応用の可能性については、[SPRING-8/SACLA利用者情報 22 (2017) 91–98] に解説を行った。本稿では、入射放射光やガンマ線の時空ダイアグラム上での経路を考えることにより、時間領域上におけるガンマ線の干渉計描像を解説することで、時間領域干渉計を用いたガンマ線準弾性散乱法のさらなる基礎理解の一助とする。さらに、高分解能モノクロメーターを用いてmeVオーダーのエネルギー幅の入射光を用い、かつマルチラインのガンマ線を実験に用いることで、サブピコ秒オーダーのダイナミクスの情報を取り出す事ができることを示す。

## 1. はじめに

電磁場のコヒーレンスという概念は、時空における電磁場の振動の位相の相関の度合いを表現する<sup>[1]</sup>。いわゆる Mössbauer 効果が起きた場合、励起原子核から弾性的に放射されるガンマ線の電場の位相の相関は、 $10^{-9}$  から  $10^{-5}$  秒の時間に渡って継続する<sup>[2]</sup>。このような位相相関の継続時間をコヒーレント時間または可干渉時間と呼ぶ。放射光 X 線のコヒーレント時間は、複数の単結晶を用いて分光しても  $10^{-12}$  秒程度に留まることを考えると<sup>[3]</sup>、硬 X 線領域の光としては Mössbauer ガンマ線は非常に高い時間コヒーレンスを有するといえる。最も典型的な Mössbauer 核種である  $^{57}\text{Fe}$  励起核からの 14.4 keV ガンマ線の場合、互いに位相の相関がある光子の波連の進行方向への長さ (コヒーレンス長) は 40 m 以上に及ぶものとなる。

この高い時間コヒーレンスは、Wiener-Khintchine の定理により Mössbauer ガンマ線の高い単色性と強く結びついている<sup>[1]</sup>。この定理によれば、一般に光のエネルギースペクトルの Fourier 変換より得られる

時間スペクトルは、電場の位相の時間相関関数を表す。ガンマ線のエネルギースペクトルの半値全幅が  $\Gamma_0$  とかけるとき、コヒーレンス時間  $\tau_0$  は  $\tau_0 \sim h/\Gamma_0$  と評価できる。すなわちガンマ線のスペクトルの幅が狭いほど、コヒーレンス時間が長いことを示している。 $^{57}\text{Fe}$  励起核からの 14.4 keV ガンマ線のコヒーレンス時間  $\sim 10^{-7}$  秒は、 $\Gamma_0$  が neV のオーダーであり、ガンマ線のエネルギーに対して 13 桁も狭いためにもたらされることが確認できる。この高い時間コヒーレンス特性は、これまで Mössbauer 核を含む物質の物性研究などに有効に用いられてきた<sup>[4,5]</sup>。

本稿で解説する時間領域干渉計を用いた準弾性散乱法は、高い時間コヒーレンスを有する単色ガンマ線を Mössbauer 核を含まない一般の物質のダイナミクス研究に用いる手法である<sup>[6,7]</sup>。2 章では、まず実験セットアップや各種実験条件を整理した上で、入射放射光とガンマ線の経路を時空ダイアグラム上で表現し、基本的なシングルライン条件の場合に得られるガンマ線の時間スペクトルの干渉パターンが、試料中のダイナミクスを反映して時間的に変化する描



像を解説する。3章では、マルチラインの時間領域干渉計の概要とその高効率の起源を概説する。4章では、入射放射光のエネルギー幅のガンマ線時間スペクトルへの影響を時間領域上で解説する。5章では、まとめと今後の展望を示す。

## 2. シングルライン時間領域干渉計の時空ダイアグラム描像

以降の議論は一般的な Mössbauer ガンマ線を用いた時間領域干渉計にも成立するものであるが、ここでは具体的にわかりやすく解説するため、<sup>57</sup>Fe 核から放射されるガンマ線を用いた実験を考える。図 1 に実験セットアップの一例と諸条件をまとめる<sup>[8-10]</sup>。

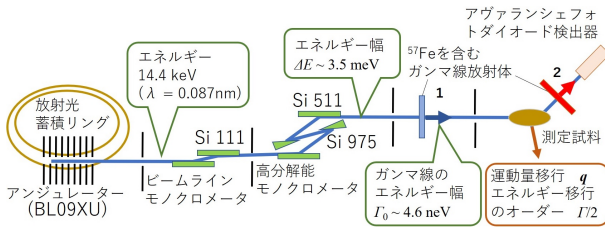


図 1 実験セットアップの概念図

時間領域干渉計システムへの入射放射光は、試料への放射ダメージを軽減するために可能な限り分光しておくことが望ましい。そのため、Nested 型の高分解能モノクロメーターを用いることで、エネルギー幅  $\Delta E \sim \text{meV}$  のオーダーに入射放射光を分光する<sup>[11]</sup>。図 2(a)左図に、入射光のエネルギースペクトルの模式図を示す。エネルギースペクトルをフーリエ変換により得られる時間スペクトル (図 2(a)右図) は、 $\Delta T \sim \hbar / \Delta E$  程度の時間スケールまで X 線電場が干渉性を有することを示している。

図 2(b)に放射体 1 および 2 から放射される全ガンマ線のエネルギースペクトル、時間スペクトルをそれぞれ示す。ガンマ線放射体 1、2 ではある単一のエネルギーでそれぞれ核励起を起こすものとする。両放射体の違いは核励起エネルギーのみで、その差  $\delta E$  は  $\Delta E \gg \delta E$  をみたすとする。加えて、 $\delta E$  は核励起のエネルギー幅  $\Gamma_0$  に対し十分大きい (すなわち  $\delta E \gg \Gamma_0$ ) とする。このとき、各放射体から放射されるガンマ線のエネルギースペクトルはシングルラインとなるので、シングルラインの時間領域干渉計と呼ぶ。

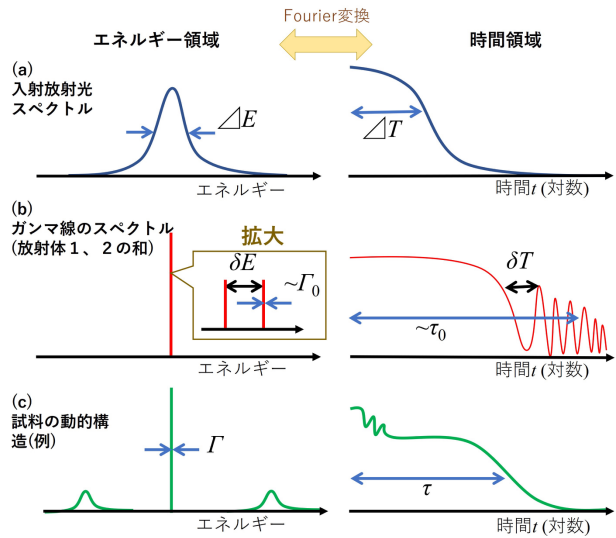


図 2 (a) 典型的な入射放射光、(b) ガンマ線の時間スペクトル・エネルギースペクトル (ガンマ線 1、2 の和) と、(c) 試料の動的構造因子・中間散乱関数の一例

図 1 に示すように、ガンマ線が試料により散乱される際に検出器を配置した散乱角とガンマ線のエネルギーから Bragg の式より決まる運動量  $q$  が移行する。図 2(c)右図はある  $q$  において静的構造因子  $S(q)$  として表される空間的な相関が時間とともに緩和する様子を模式的に示しており、中間散乱関数  $S(q, t)$  と呼ばれる<sup>[12]</sup>。このエネルギー領域における表現 (図 2(c)左図) は動的構造因子と呼ばれる。

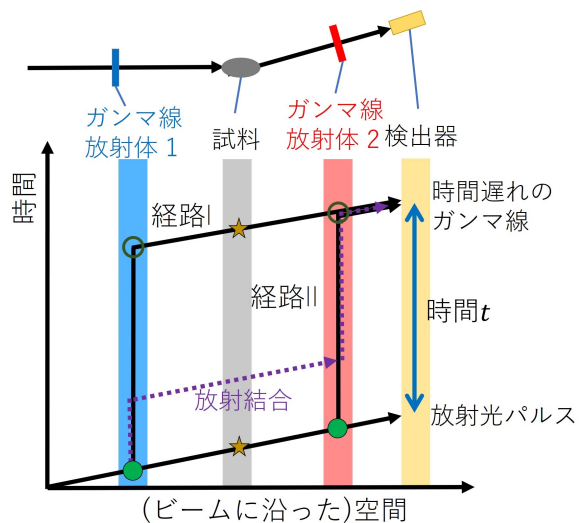


図 3 時間領域干渉計におけるガンマ線・入射放射光の時間・空間経路

図 3 に時間領域干渉計セットアップにおける、入射放射光パルスとガンマ線の時空ダイヤグラム上での経路を示す<sup>[13,14]</sup>。横軸としては、試料からある散乱角に散乱されるビームパス方向に沿った空間を考える。●は放射光による原子核の励起イベント、○は原子核の脱励起にともなう Mössbauer ガンマ線の前方方向への放射イベント、★は試料における Rayleigh 散乱イベントをそれぞれ表す。大部分の入射放射光は原子核を励起せず、試料により散乱され検出器で検出される。時空ダイヤグラム上での経路の傾きは光速を表す。この大部分の放射光パルスより、原子核の寿命  $\tau_0 \sim 140$  ns と同程度の時間スケール  $t$  だけ遅れて検出器で検出される光子 (ガンマ線) が時空ダイヤグラム上でどのような経路を取りうるか考える。図 1 に示すように、ガンマ線放射体 1 中で核励起イベントを起こし、時間  $t$  だけ後にガンマ線“1”を放射し、試料により Rayleigh 散乱され、ガンマ線放射体 2 中で核励起イベントを起こさずに検出器で検出される経路 I が考えられる。また、ガンマ線放射体 1 中で核励起イベントを起こさずに、試料により Rayleigh 散乱され、ガンマ線放射体 2 中で核励起イベントを起こし、時間  $t$  だけ後にガンマ線“2”を放射し検出器で検出される経路 II が考えられる。検出器の時間分解能が  $\hbar/\delta E$  よりも十分小さい場合、時間  $t$  において観測された光子が経路 I、経路 II のどちらを通ってきたかガンマ線のエネルギー差の観点からは不確定性原理により知ることができない。

ここで、 $\delta E \gg \Gamma$  の場合、図 1 中の放射結合と表記された点線の経路のように、ガンマ線放射体 1、2 の両方で核励起イベントを起こす経路をガンマ線が通る可能性は無視できる。

通常、干渉計は空間で光を 2 手方向に分けることにより構築される。しかし本測定系は、比較的長いコヒーレンス時間を有するガンマ線を時空ダイヤグラム上で分けて干渉計を構築する大変ユニークなものである。これが時間領域干渉計という手法の名称の由来である。

試料中での運動が無視できる場合、得られる時間スペクトルは図 4(a)のように互いにわずかにエネルギーの異なるガンマ線 1、2 の干渉から“うなり”が生じる。時空ダイヤグラム上では、経路 I を通るガンマ線は、経路 II を通るガンマ線に対し時間  $t$  だけ遅れ

て試料により Rayleigh 散乱される。ここで、ガンマ線の試料への運動量移行  $q$  に対応する、 $2\pi/q$  スケールの電子密度の空間的な相関が緩和する時間  $\tau$  がガンマ線の観測時間窓に入る場合を考える。このとき、経路 I、II を通ったガンマ線の位相の相関は  $\tau$  の時間スケールで消失する。その結果、図 4(b)のように両経路のガンマ線の干渉パターン (うなり) が  $\tau$  の時間スケールで消え、干渉がない場合の時間スペクトルに移り変わる。これが“うなり”の緩和の時間領域上での解釈である。

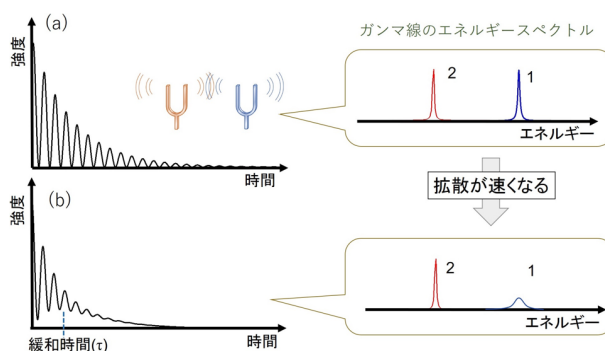


図 4 シングルライン時間領域干渉計の時間スペクトルと対応するエネルギースペクトルの概念図 (a) 拡散がない場合、(b) 拡散が存在し、その緩和時間が観測時間窓に入る場合

### 3. マルチライン時間領域干渉計の時空ダイヤグラム描像

ガンマ線放射体 1、2 として、それぞれで複数の異なるエネルギーで核励起を起こすような、マルチラインの時間領域干渉計を構築した場合に得られる時間スペクトルに関しても、基本的には同様の描像が成り立つ<sup>[14]</sup>。すなわち、ガンマ線の時間スペクトルは、試料中のマイクロな空間的な相関の緩和に伴い、経路 I、II を通ったガンマ線同士の干渉の現れである“うなり”の振幅が減少する (図 5)。ガンマ線放射体 1、2 として様々な核励起エネルギーを有する放射体の選択が可能であるが、ガンマ線 1、2 間の干渉パターンがより劇的に干渉がない場合の時間スペクトルを変化させるような組み合わせを選択することで、試料の緩和の情報をより効率よく取得することが可能となる。これまで模擬実験スペクトルを生成し効率を評価する手法を確立することで、単純性と高効率を両立する組み合わせを見出している。それにより、ガ

ンマ線の干渉パターンに、より効率的に情報をのせることを可能としている。これが、シングルライン法にくらべてマルチライン法の測定効率が大変高い要因の一つである。

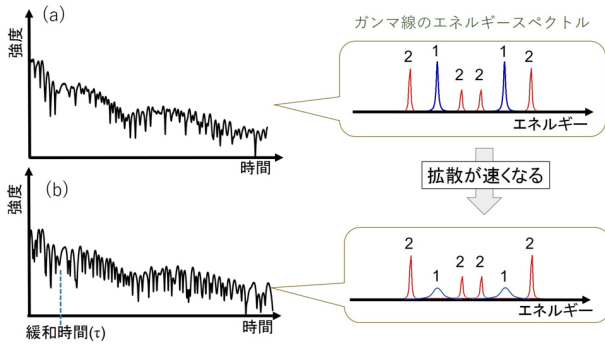


図5 マルチライン時間領域干渉計の時間スペクトルと対応するエネルギースペクトルの概念図 (a) 拡散がない場合、(b) 拡散が存在し、その緩和時間が観測時間窓に入る場合

4. 入射放射光のエネルギー幅の影響の時間領域描像—マルチライン法のもう一つの利点

液体や固体中には格子振動や分子振動が存在し、その時間スケールは通常サブピコ秒程度である。この時間スケールは、meV に入射光を分光した場合の入射光のコヒーレンス時間と同程度のスケールとなる。我々は、入射放射光の時間コヒーレンスが試料との相互作用により低下しそれがガンマ線の時間スペクトルに影響すること、そしてマルチライン法を用いることで、このようなサブピコ秒スケールのダイナミクスの情報がナノ秒スケールの情報に加えて同時に得られることを示してきた<sup>[4]</sup>。

この理解のために、経路 I、II を図 6(a)、(b) に個別に示しそれぞれ詳細に考察する。入射光のエネルギー幅が meV 程度であり、そのため入射光が  $\Delta T$  ~ サブピコ秒のコヒーレンス時間を有する場合を考える。2 章と同様に、核励起を起こさない大部分のパルス放射光の強度ピークに対し  $t$  ( $\gg \Delta T$ ) だけ遅れて検出されるガンマ線のとりうる経路を考える。このとき互いに干渉性を有する  $\Delta T$  程度の時間  $t'$  異なった時間成分の入射光の経路も考慮する必要がある。経路 I では、検出器で大部分の散乱放射光から時間  $t$  だけ遅れて検出された光子は、入射時間に時間差  $t'$  があつたとしても、試料において大部分の放射光が散

乱される時間から常に  $t$  の時間後に散乱される。

一方経路 II では、同様に核励起を起こさなかつた散乱放射光の強度のピークから時間  $t$  だけ遅れて検出された光子は、入射時間に時間差  $t'$  分の差があつた場合、試料においても  $t'$  だけ異なつた時間で散乱することになる。試料において  $\Delta T$  の時間スケールにおいて運動がある場合、散乱電場の位相の相関は減少することになる。これは、位相が揃い前方方向に建設的に干渉する成分が減少することを意味するため、経路 II を通つたガンマ線 2 の散乱強度がガンマ線 1 に対して減少する効果として現れる。

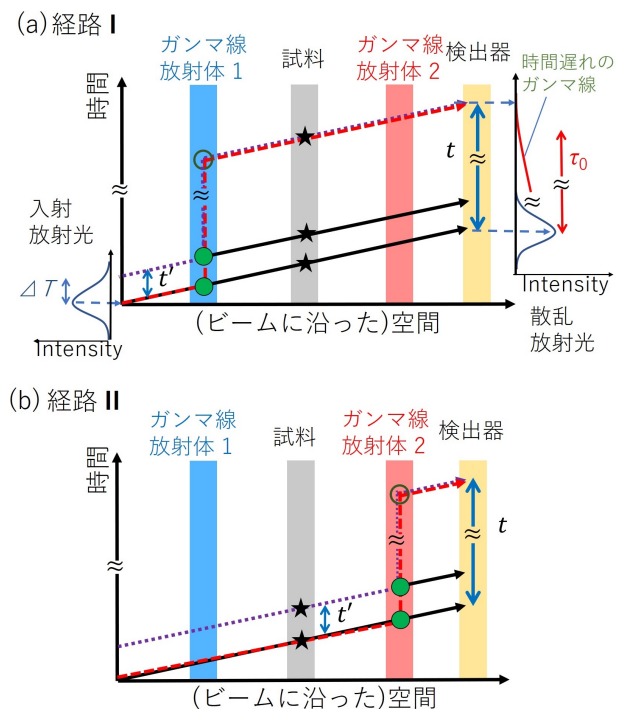


図6 入射放射光のエネルギー幅を考慮した時間領域干渉計におけるガンマ線・入射放射光の時間・空間経路 (a) 経路 I、(b) 経路 II

これまでガンマ線経路 I、II は同等であると考えられてきた<sup>[8-10]</sup>。しかし、ガンマ線放射過程が試料による散乱過程より後に起こると、散乱ガンマ線の強度が減少する場合があることが示された。シングルラインの時間領域干渉計を構築した場合、ガンマ線 1、2 の強度差があつたとしても、ガンマ線 1、2 の干渉によるうなりが観測時間窓より速い時間スケールで緩和している効果と同じように見え、定量的にその寄与を決定できない。一方、ガンマ線 1、2 のエネルギースペクトルの形状が互いに異なる条件のマルチ

ライン時間領域干渉計を構築することで、初めてガンマ線 1、2 の強度差を測定することが可能となり、サブピコ秒のダイナミクス情報を引き出すことができる<sup>14)</sup>。これが、マルチライン時間領域干渉計の高速度測定効率に加えたもう一つの利点である。

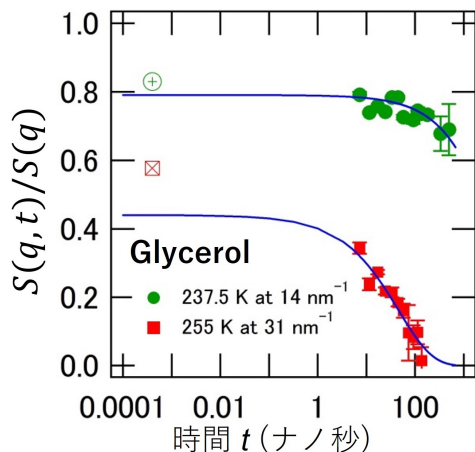


図7 Glycerol に対して得られた規格化された中間散乱関数  $S(q, t)/S(q)$  の例

図7にガンマ線時間スペクトルの干渉パターンを解析することで得られる時間0での値(すなわち静的構造因子  $S(q)$ )で規格化された中間散乱関数  $S(q, t)/S(q)$ を示す。結果は glycerol について得られたものであり、観測時間窓内で十分緩和する255 Kにおける  $q = 31 \text{ nm}^{-1}$ で得られた  $S(q, t)/S(q)$ と、緩和が十分でない237.5 Kにおける  $q = 14 \text{ nm}^{-1}$ で得られた  $S(q, t)/S(q)$ を示す<sup>14)</sup>。現在ガンマ線の時間スペクトルを観測可能な時間窓(数ナノ秒～サブマイクロ秒)での観測結果に対し、そのフィット曲線を実線で示している。一方、 $\Delta T$ に対応するサブピコ秒の時間スケールにおいても、典型的な  $S(q, t)/S(q)$ の値をプロットすることができる。この点がナノ秒領域のフィット曲線から外れているのはサブピコ秒の時間スケールで分子振動やボゾンピークにより中間散乱関数が緩和していることを表している<sup>15)</sup>。このように、時間領域干渉計は2つのエネルギー分解能関数を有するユニークな測定系で、対応する異なる時間スケールのダイナミクスの情報を、マルチライン化することで同時に得ることができる。なお、この節において時間領域上で解説した描像は、エネルギー領域上のスペクトル形状の議論からも示すことができるが、紙面の都合上割愛する。

## 5. まとめと展望

本稿では、ガンマ線の長い時間コヒーレンスの観点から時間領域干渉計の原理の解説を試みた。今後 SPring-8-II の完成により入射放射光の空間コヒーレンスが向上することから、高い時間・空間コヒーレンス有するガンマ線を生成することが可能となると考えられる。このような高コヒーレントなガンマ線によりユニークな物性研究が加速すると考えられる。

## 参考文献

- [1] 菊田惺志: X線散乱と放射光科学 基礎編 (東京大学出版会、2011)
- [2] G. V. Smirnov: *Hyperfine Interactions* **123/124** (1999) 31.
- [3] M. Yabashi, K. Tamasaku, S. Kikuta, T. Ishikawa: *Rev. Sci. Instrum.* **72** (2001) 4080.
- [4] 瀬戸誠: 日本結晶学会誌 **43** (2001) 405.
- [5] 瀬戸誠: 固体物理 **44** (2009) 27.
- [6] 齋藤真器名: SPring-8/SACLA 利用者情報 **22** (2017) 91.
- [7] 齋藤真器名: 固体物理 **47** (2012) 11.
- [8] A. Q. R. Baron *et. al.*: *Phys. Rev. Lett.* **79** (1997) 2823.
- [9] G. V. Smirnov, V. G. Kohn, and W. Petry: *Phys. Rev. B* **63** (2001) 144303.
- [10] G. V. Smirnov, *et. al.*: *Phys. Rev. B* **73** (2006) 184126.
- [11] T. Ishikawa, Y. Yoda, K. Izumi, C. K. Suzuki, X. W. Zhang, M. Ando, and S. Kikuta: *Rev. Sci. Instrum.* **63** (1992) 1015.
- [12] P. M. Chaikin, T. C. Lubensky: 現代の凝縮系物理学 (吉岡書店、2000).
- [13] R. Röhlsberger: *Nuclear Condensed Matter Physics with Synchrotron Radiation* (Springer, 2005).
- [14] M. Saito, R. Masuda, Y. Yoda, M. Seto: *Sci. Rep.* **7** (2017) 12558.
- [15] F. Bencivenga, *et. al.*: *Nature* **520** (2005) 205.

齋藤 真器名 SAITO Makina

京都大学 複合原子力科学研究所  
〒590-0494 大阪府泉南郡熊取町朝代西2丁目  
TEL : 072-451-2680  
e-mail : msaito@rri.kyoto-u.ac.jp

(SPRUC 2018 Young Scientist Award 受賞 研究報告)

## 微小結晶タンパク質 X 線結晶構造解析を加速する 自動データ処理システムの開発

東京大学 大学院理学系研究科  
山下 恵太郎

### Abstract

X 線結晶構造解析によるタンパク質立体構造決定では、十分な大きさと回折能を持ったタンパク質結晶を得る過程がボトルネックになっている。特に、膜タンパク質や不安定な複合体などは難度が高く、数から数十マイクロメートルオーダーの小さな結晶しか得られないことが多い。そのような微小結晶に対しては、マイクロビーム X 線を利用することで高 S/N 比でのデータ収集が可能になるが、放射線損傷の問題から、1 つの結晶から高分解能かつ完全なデータを得ることは難しい。よって、構造解析には複数の微小結晶を用いる必要がある。筆者らは、SPring-8 のマイクロビームライン BL32XU において多数の微小結晶からデータ収集・処理を行うワークフローを整備し、自動化に成功した。これらの開発によって、微小結晶を用いた構造解析が劇的に容易になり、多くの成果が創出された。

### 1. はじめに

タンパク質や核酸などの生体高分子の多くは、固有の立体構造を形成することで、それぞれ固有の機能を発揮する。X 線結晶構造解析は、複雑な生体高分子の立体構造を数オングストロームの高い分解能で決定できる強力な手法であり、生命現象の理解に大きく貢献してきた。通常、50 から 200  $\mu\text{m}$  程度のサイズの結晶が 1 つあれば、一般的なタンパク質結晶用の放射光ビームラインで簡便に回折強度データ収集が可能である。しかしながら、膜タンパク質や不安定な複合体などは試料調製の難度が高く、十分なサイズの結晶を得ることが極めて困難である。特に、近年膜タンパク質の結晶化に非常によく利用される脂質メソフェーズ法<sup>1)</sup> (lipidic mesophase method) では、品質は高いものの大きな結晶に育たないということがよく起こる。微小結晶は体積が小さいため回折強度が弱く、さらに試料周囲の物質による散乱バックグラウンドも相対的に高くなるため、微小結晶に選択的に X 線を照射できるマイクロビームの利用が必須である。マイクロビームが利用できるようになって初めて、微小結晶からのデータ収集は現実的になった。しかしながら、体積の小さな微小結晶から高分解能の回折強度を得

ようとして高強度の X 線を用いると、簡単に吸収線量の限界 ( $\sim 10 \text{ MGy}$ ) を超え、得られる分解能が劣化してしまう。すなわち、微小結晶 1 つから高分解能かつ完全な回折データを得ることは困難である。解決方法として、1 つは近年利用可能になった X 線自由電子レーザー (X-ray free-electron laser: XFEL) が挙げられる。大強度のフェムト秒パルス X 線である XFEL を用いると放射線損傷の発生よりも前に回折データを収集できる (diffraction before destruction<sup>2)</sup>) ため、この原理の適用範囲内においては損傷を気にすることなく大強度 X 線による高分解能データ収集が可能になる。ただし、XFEL 照射直後に試料は損壊するため、結晶 1 つからは静止写真が 1 枚しか得られず、構造解析には多くの場合、数千枚以上の回折パターンが必要になる。さらに、ビームタイムも非常に限られているため、静的な結晶構造を得るだけの目的にはやや利用しづらいのが現状である。一方、従来の光源では放射線損傷を完全に回避することはできないが、露光中の試料の回転によって多数の回折点の積分反射強度を測定できるので、より少数の結晶からでも高精度な回折強度を得ることができる。具体的には、クライオ条件下で 1 結晶あたり  $5\text{--}10^\circ$  程度の狭い振動範囲

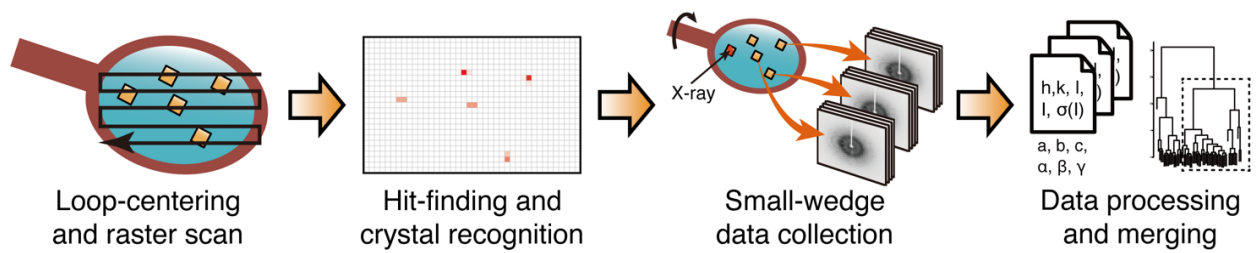


図1 多数の微小結晶を用いた small-wedge データ収集スキーム。X線を用いた回折スキャン（収集する角度領域は数度程度なので図の方位のみ）によって結晶位置を特定後、個別にデータを収集、マージ処理を行う。総説<sup>[5]</sup>より転載（CC-BY 2.0: <https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/>）。

(small-wedge) だけ測定することで、放射線損傷が重篤にならない範囲で高分解能の回折データが得られる。この場合、通常は数十から数百個程度の結晶だけで十分な質のデータが得られる。結晶にビームを当てる際、クライオロープなどの試料ホルダに複数の結晶がランダムな方位で収められていれば、同一の振動範囲で各結晶からデータ収集を行えるため、正面から見た結晶の位置を決めるだけでよいという利点もある。すなわち、このスキームでは、まずループ全域から結晶位置を検出し、各位置から振動写真データを収集することを繰り返す（図1）。SPRING-8のマイクロビームビームライン BL32XU においても、このスキームの確立および自動化が2015年頃から進められ、ZOO<sup>[3]</sup>システムとして現在活発に利用されている。同時期に仏 ESRF から *MeshAndCollect*<sup>[4]</sup> が発表されたほか、世界的にも開発が進められている。筆者は ZOO のうち、特に回折スキャンによる結晶位置検出と、回折強度データの自動処理に携わったので、本稿ではその2つの事柄について記述し、いくつかの実例を紹介する。

## 2. 回折スキャンによる結晶センタリング

微小結晶に確実に X 線を照射し回折データを収集するには、高い精度で結晶位置を決める必要がある。加えて、特に脂質メソフェーズ法による結晶は顕微鏡下で視認できないことが多いため、X線によって試料ホルダを2次元走査し、回折斑点の有無から結晶位置を決める方法が取られる。このとき損傷を与えない程度の低線量に抑える必要があるが、結晶位置判定には強度の大きい低分解能領域の回折斑点のみを用いるため、データ収集に値するような結晶を見出すにはそ

れで十分である。スキャン領域は試料ホルダの大きさに依存するが、多いときは1万箇所（たとえば  $10 \times 10 \mu\text{m}^2$  のビームサイズで  $1 \times 1 \text{mm}^2$  を走査）以上をスキャンして結晶位置を探索する。高速に生み出される大量のイメージを即座に解析して結晶位置を提示するため、筆者はプログラム SHIKA (Spot-wo Hirote Ichiwo Kimeru Application) を開発した。SHIKA は並列計算によってイメージを高速処理し、GUI 上に結果を表示する（図2）。BL32XU では検出器 EIGER の streaming mode を活用し、並列計算によってリアルタイムのイメージ処理を行っている。SHIKA では、もともと SFX 実験のために開発されたプログラム Cheetah<sup>[6]</sup> のピークサーチ機能を移植して利用している。ピークサーチ領域は分解能  $5 \text{ \AA}$  以下の低角領域

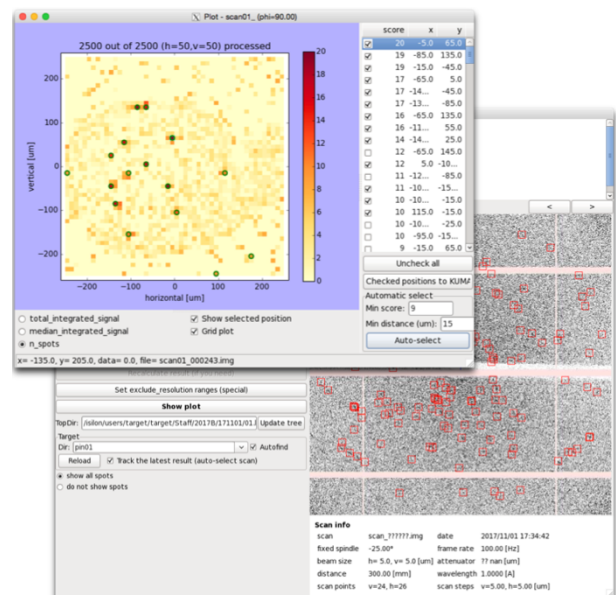


図2 SHIKA GUI。スポット数のヒートマップから選択した座標の実際の回折画像が確認できる。KUMA とはネットワーク経由で通信を行う。

のみを対象としており、氷由来のピークが混入しないようにして偽陽性率を抑えている。画像処理時はピークサーチに加えて、GUI やレポート HTML で表示するためのサムネイル画像の作成も行う。レポート HTML ファイルも生成され、ユーザーは持ち帰ったデータからも Web ブラウザを利用して結果を確認できる。SHIKA GUI で選択した結晶の座標は、損傷を考慮して露光条件を設定するプログラム KUMA (Kessho-wo Ugokashitari Mawashitari-suru Application) に転送できるようになっている。

結果の評価は、スポットの平均 S/N 比やスポットの数などの評価基準があるが、現在のところスポットの数を最も有用な指標として利用している。GUI から評価基準を選択し、スポット数のしきい値・結晶間の最小距離を入力することで、自動的に結晶の可能性の高い座標を選択できる。選択した複数の座標は一度に KUMA に転送し、small-wedge データ収集のスケジュールを即座に構築可能である。

### 3. Small-wedge データの自動処理

多数の微小結晶を構造解析に用いる場合、データ処理はいくらか複雑になる。データセット 1 つあたりがカバーする逆空間領域が狭いため、回折強度の正しい対称性を決めるのも単純ではない。また、強度の対称性よりも格子の対称性が高い場合(たとえば P4 など)、反射の指数の付け方に幾何学的に等価な複数の可能

性が生じる (indexing ambiguity) が、結合 (マージ) する前に指数の付け方を合わせる必要がある。データをマージする際は、同型な、つまり同一の格子定数・構造に由来するデータのみを結合する必要がある。これらの要素技術の多くはすでに様々開発が行われているものの、微小結晶から収集したデータを構造解析に利用できる状態へ自動的に処理する仕組みは我々の知る限り存在していなかった。自動データ処理は、ハイスループット構造解析には非常に重要であり、またビームライン実験へのリアルタイムなフィードバックにも有用なものとなる。そこで筆者らはプログラム KAMO (Katappashikara Atsumeta data-wo Manual yorimoikanjide Okaeshisuru) を開発し、small-wedge データ処理の自動化を実現した<sup>7)</sup>。KAMO はビームライン外でも自由に利用できるよう、GitHub にて New BSD License で公開されている (<https://github.com/keitaroyam/yamtbx>)。KAMO は、XDS<sup>8)</sup>や、DIALS<sup>9)</sup>などの CCP4<sup>10)</sup>のプログラムを用いて、自動処理を行う。また依存関係として CCTBX ライブラリ<sup>11)</sup>を必要とする。KAMO を開発したことによって、大量の微小結晶を用いてより高分解能・高精度のデータが容易に得られるようになった。

KAMO には、個別データセットの自動処理機能に加え、同一格子に属するデータセットの選択、格子定数または強度相関に基づくデータセットのクラスタリング、異常値を示す結晶・回折像の除去とマージ、

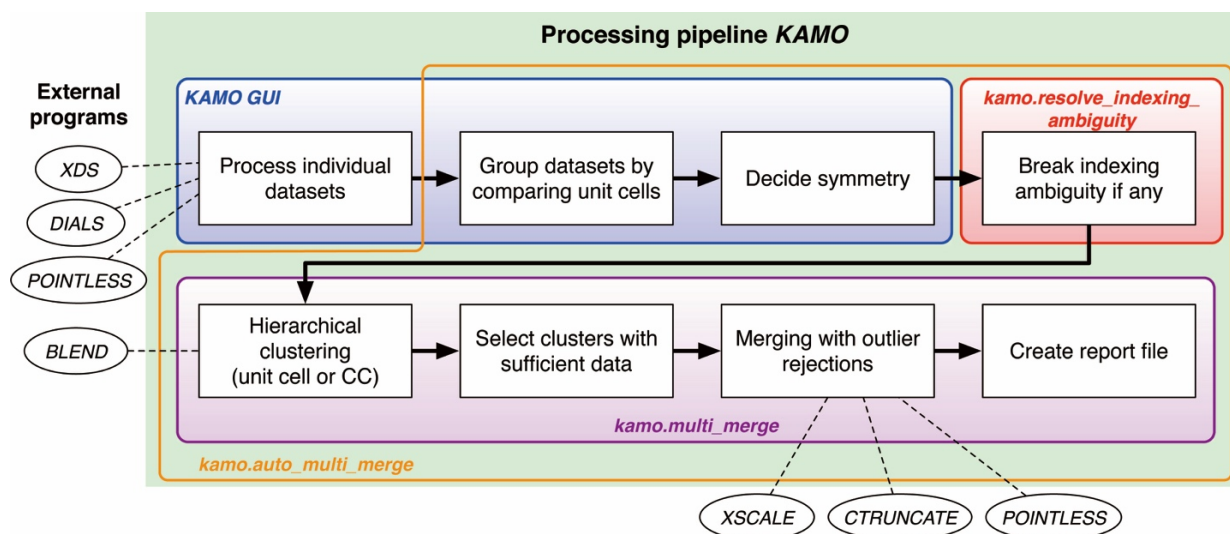


図3 KAMO プログラム利用の流れ。論文<sup>7)</sup>より転載 (CC-BY 2.0: <https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/>)。

レポート作成の機能が備わっている。KAMO を用いた処理の流れを図 3 に示した。KAMO はもともと SPring-8 ビームライン、特に ZOO の一部として利用するために開発したが、現在ではその他の施設でも利用可能である。SPring-8 ビームラインで利用する場合は、タンパク質結晶ビームライン標準のデータ収集プログラムである BSS<sup>[12]</sup>のログを監視することでデータ収集と並行した自動処理ができるようになっている。

#### 4. 利用成果

BL32XU において、SHIKA および KAMO はすでに多数の構造解析に利用されている。KAMO のドキュメント (<https://github.com/keitaroyam/yamtbx/blob/master/doc/kamo-ja.md>) には KAMO を構造解析に用いた文献の一覧を載せている。このうち多くは生データも公開されており、<https://github.com/keitaroyam/yamtbx/wiki> には生データの URL とデータ処理方法を掲載している。興味を持った方はぜひ参照されたい。代表的には、多角体タンパク質<sup>[13]</sup>、リゾホスファチジン酸受容体 LPA<sub>6</sub><sup>[14]</sup>、エンドセリン B 型受容体のボセンタン結合型構造<sup>[15]</sup>、トリオースリン酸／リン酸輸送体 (TPT)<sup>[16]</sup>、真核生物由来 MATE トランスポーター<sup>[17]</sup>、ヒト由来オレキシン 2 受容体<sup>[18]</sup>、ロイコトリエン B4 受容体 BLT1<sup>[19]</sup>、鉄還元酵素 Dcytb<sup>[20]</sup>、アニオンチャネルロドプシン iC<sup>+</sup><sup>[21]</sup>および GtACRI<sup>[22]</sup>が挙げられる。いずれも 1 結晶あたり 5–10°程度のデータを数十から数百個の結晶から収集し、構造解析に成功している。利用成果の多くは脂質メソフェーズ法によって結晶化された膜タンパク質だが、本稿で述べた手法の適用範囲は膜タンパク質に限らない。最初に挙げた多角体タンパク質は細胞内結晶化によって得られた可溶性タンパク質試料であるし、また、同じく可溶性タンパク質で、恐らく砕けた状態の針状結晶を含んだ 1 ループのみから構造決定に成功した例もある (unpublished data)。マイクロビームによって試料の質の良い部分からデータを得ることが可能になったが、今回開発した多数の試料からデータを集める方法と組み合わせることで、それが現実的なものになったと言えるだろう。微小結晶や針状結晶でお困りの方は、ぜひ利用を検討していただきたい。

#### 5. おわりに

タンパク質結晶構造解析では、良質かつ大きな結晶を得ることが非常に大きなボトルネックになっている。マイクロビーム技術の登場によって微小結晶を用いた構造解析が技術的に可能になり、これまで大きく良質な結晶が得られず構造解析できなかつたような試料も解析対象になった。SHIKA・KAMO を含む微小結晶のためのワークフローおよびソフトウェア環境整備と、その自動化システム ZOO の開発によって、そのような微小結晶を用いた構造解析が非常に簡易・高速になった。Small-wedge データ収集では、なるべく多くのデータを集め、適切にマージを行うことで、より高分解能かつ高精度のデータが得られることが期待される。KAMO は大量のデータセットの処理を大幅に省力化し、これによって処理方法について心配することなく大量のデータ収集を行えるようになった。

KAMO は BL32XU 以外の SPring-8 ビームラインでも利用可能なほか、海外の放射光施設の一部でもすでに導入されている。今後も、機能の高度化を続けていきたい。特に、データ収集中にオンザフライでマージおよび構造解析を自動的に行う機能が求められている。これによって、ある試料についてデータ収集を継続する必要があるかどうかの判断が自動的に可能になり、全自動データ収集がさらに効率化されるだろう。

#### 謝辞

本研究は、日本医療研究開発機構 (AMED) 「創薬等支援技術基盤プラットフォーム事業」および日本学術振興会 (JSPS) 科学研究費補助金研究活動スタート支援「多数の微小結晶を用いた結晶構造解析手法および自動化システムの開発」などの支援を受けて行われました。関係各所に深く感謝します。また本研究の遂行にあたり、SPring-8 構造生物学ビームライン関係者の方々、特に理化学研究所放射光科学研究センターの山本雅貴部長・平田邦生専任技師には大変お世話になりました。さらに、SPring-8 BL32XU のユーザーの方々には実サンプルの提供やフィードバックを通じて多大なご協力をいただきました。この場を借りてお礼申し上げます。



## 参考文献

- [ 1 ] M. Caffrey: *Acta Crystallographica Section F* **71** (2015) 3-18.
- [ 2 ] R. Neutze, R. Wouts, D. van der Spoel *et al.*: *Nature* **406** (2000) 752-757.
- [ 3 ] K. Hirata, K. Yamashita, G. Ueno *et al.*: *submitted* (2018).
- [ 4 ] U. Zander, G. Bourenkov, A. N. Popov *et al.*: *Acta Crystallographica Section D* **71** (2015) 2328-2343.
- [ 5 ] M. Yamamoto, K. Hirata, K. Yamashita *et al.*: *IUCrJ* **4** (2017) 529-539.
- [ 6 ] A. Barty, R. A. Kirian, F. R. N. C. Maia *et al.*: *Journal of Applied Crystallography* **47** (2014) 1118-1131.
- [ 7 ] K. Yamashita, K. Hirata and M. Yamamoto: *Acta Crystallographica Section D* **74** (2018) 441-449.
- [ 8 ] W. Kabsch: *Acta Crystallographica Section D* **66** (2010) 125-132.
- [ 9 ] D. G. Waterman, G. Winter, J. M. Parkhurst *et al.*: *CCP4 Newsletter on Protein Crystallography* **49** (2013) 16-19.
- [10] M. D. Winn, C. C. Ballard, K. D. Cowtan *et al.*: *Acta Crystallographica Section D* **67** (2011) 235-242.
- [11] R. W. Grosse-Kunstleve, N. K. Sauter, N. W. Moriarty *et al.*: *Journal of Applied Crystallography* **35** (2002) 126-136.
- [12] G. Ueno, H. Kanda, T. Kumasaka *et al.*: *Journal of Synchrotron Radiation* **12** (2005) 380-384.
- [13] S. Abe, H. Tabe, H. Ijiri *et al.*: *ACS Nano* **11** (2017) 2410-2419.
- [14] R. Taniguchi, A. Inoue, M. Sayama *et al.*: *Nature* **548** (2017) 356-360.
- [15] W. Shihoya, T. Nishizawa, K. Yamashita *et al.*: *Nature Structural & Molecular Biology* **24** (2017) 758-764.
- [16] Y. Lee, T. Nishizawa, M. Takemoto *et al.*: *Nature Plants* **3** (2017) 825-832.
- [17] H. Miyauchi, S. Moriyama, T. Kusakizako *et al.*: *Nature Communications* **8** (2017) 1633.
- [18] R. Suno, K. T. Kimura, T. Nakane *et al.*: *Structure* **26** (2017) 7-19.
- [19] T. Hori, T. Okuno, K. Hirata *et al.*: *Nature Chemical Biology* **14** (2018) 262-269.
- [20] M. Ganasen, H. Togashi, H. Takeda *et al.*: *Communications Biology* **1** (2018) 120.
- [21] H. E. Kato, Y. S. Kim, J. M. Paggi *et al.*: *Nature* **561** (2018) 349-354.
- [22] Y. S. Kim, H. E. Kato, K. Yamashita *et al.*: *Nature* **561** (2018) 343-348.

山下 恵太郎 YAMASHITA Keitaro

東京大学 大学院理学系研究科

〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1

TEL : 03-5841-4391

e-mail : keitaro.yamashita@bs.s.u-tokyo.ac.jp

## 新分野創成利用課題報告

### ナノスケール実スピンデバイス開発に向けた新しい放射光利用

東北大学 電気通信研究所

大野 英男

名古屋工業大学 大学院工学研究科

壬生 攻

東京大学 大学院工学系研究科

千葉 大地

#### Abstract

SPring-8をとりまく研究者間の横のつながりを強化することを目的に設置された「SPRUC 分野融合型研究グループ」の一つである「ナノデバイス科学」の理念を体現するため、2015B-2017A 期の4期・2年にわたり、新分野創成利用課題「ナノスケール実スピンデバイス開発に向けた新しい放射光利用」が実施された。トップダウン式の課題設定と研究者間の密接な情報交換を両輪に、最終的に9つの研究グループが7本のビームラインを有機的に活用し、スピントロニクスを中心としたナノデバイス科学と放射光研究の融合課題が推進された。異なるグループの研究者間の協力のもと、単一チームの発想に基づく従来のSPring-8一般課題では実施されなかったであろう課題や、SPring-8の利用や特定のビームラインの利用を強く検討していなかった研究グループの課題も実施され、いくつかの新しい成果が挙げられた。

#### 1. はじめに

スピンと電荷の自由度を物質の多様な“機能”として活かすナノスピンデバイスの研究は、巨大磁気抵抗の発見とその磁気ヘッドへの応用に端を発し、不揮発性磁気メモリやマイクロ波発振器など多様な製品を産み出す学術基盤として日本が世界をリードしている。これらの研究では、最先端の計測技術を用いたナノ構造と機能の可視化が開発の進展を担う重要な要素である。この研究分野においては先端計測基盤技術であるSPring-8の利活用についていくつかの実績があるが、これまでの研究は各大学・研究機関における小規模かつ個別の研究に限定され、ナノスピンデバイス分野が求める計測基盤技術としての役割が不明瞭であった。

そこで、本研究課題では、SPRUC 分野融合型研究グループ「ナノデバイス科学」の設置理念とSPring-8新分野創成利用課題の方針を鑑み、これまでにない新しい試みとして、異なる研究グループ間の密接な情報交換と共通認識のもと、物質やデバイスに対して構

造・電荷・スピンを捉える種々の先端放射光ツールを駆使した包括的な解析アプローチを行うことを目的とした(図1)。一連の計測ツールとして、磁気コンプトン解析(BL08W)、核共鳴散乱解析(BL09XU)、表面界面薄膜X線回折(BL13XU)、オペランドナノ電子状態解析(BL25SU、BL39XU)、光電子分光(BL09XU、BL17SU、BL47XU)など、多岐にわたるビームラインを有機的に活用した。このように、個別の研究では実現し得ない情報の共有やノウハウの



図1 マルチビームライン利用によるスピントロニクス新分野創成のイメージ

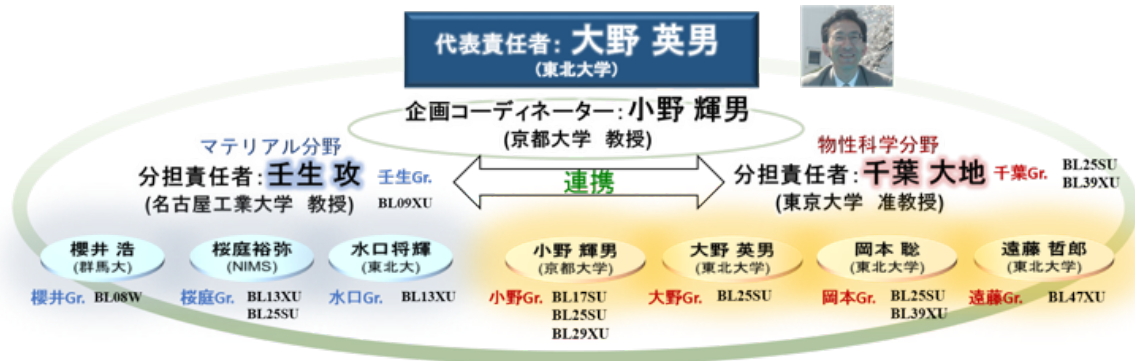


図2 研究体制

蓄積によるシナジー効果の創出を目指し、「放射光による物質デザイン・ナノデバイス創成」という新しいアプローチを通じて、サステナブル社会の実現に対応する新規高性能機能性材料およびデバイスの実現に向けての研究を推進した。

## 2. 研究体制

本研究は2015B–2017A期の4期・2年間にわたり行われた。最終的な研究実施体制(図2)として、分担責任者の壬生攻が、壬生グループ、水口将輝(東北大)グループ、櫻井浩(群馬大)グループ、桜庭裕弥(NIMS)グループから構成されるマテリアル分野のチームを総括し、同じく分担責任者の千葉大地が、千葉グループ、大野英男グループ、小野輝男(京都大学)グループ、岡本聡(東北大学)グループ、遠藤哲郎(東北大学)グループから構成される物性科学分野のチームを総括した。さらに全グループには総計で40人以上の若手の研究者や大学院生が参画した。両チーム間の連携は、代表責任者(大野英男)のリーダーシップのもと、主として分担責任者および企画コーディネーターの小野輝男を通じて密接にとり行われた。なお、『期間内であればビームラインを追加でき、横断的に利用可能』、『実験責任者個人としてのみでなくグループとしても利用可能』という新分野創成利用課題ならではの特徴を活かし、以下のような取り組みを行った。(i) 分野の裾野の拡大を意識し、いくつかのグループに4期の実施期間の途中から参画いただいた。これにより、2015B期には5グループ・4ビームラインの利用であったが、最終的には9グループ

プ・7ビームラインへ利用を拡大した。(ii) いくつかのテーマは、複数グループの参画により行われた。このように、より有機的な研究成果を創成するための積極的な取り組みを行った。その他、5回にわたる公開の定例研究会を開催し、企業も含め分野内外の研究者にご参加いただき、本課題の取り組みを広く発信するとともに、研究者間の緊密な情報交換を行った。

## 3. 研究アプローチと成果

本課題の研究アプローチを図3(a)に示す。本課題では、放射光による実験がスピントロニクス分野における諸課題の解決を大きく促すと考えられるテーマをトップダウンで設定し、各グループがそれに向かって包括的に研究を進めるというアプローチをとった。特に、①スピントロニクスを支えるマテリアルの高性能化や背景物理現象の理解、②実用スピントロニクスデバイスの性能と電子状態の関連性理解、③スピントロニクス材料やデバイスの新たな軸での評価手法の開拓、といった3つの重要な柱をベースに研究を進めた。その結果、①については、スピントロニクスマテリアルの放射光による系統的評価から高効率デバイスへの応用の指針を得ただけでなく、将来を担うスピントロニクス技術に成長すると期待される新規現象の背景物理を放射光で紐解く成果を挙げた。また、これらの研究の進展により、電流・電界印加オペランド分析技術の向上や、実験基盤技術の共通化を大きく前進させた。②や③についても、トップダウンでのテーマ設定が功を奏し、興味深い成果が挙げられた。以下、具体的な取り組みを紹介する。

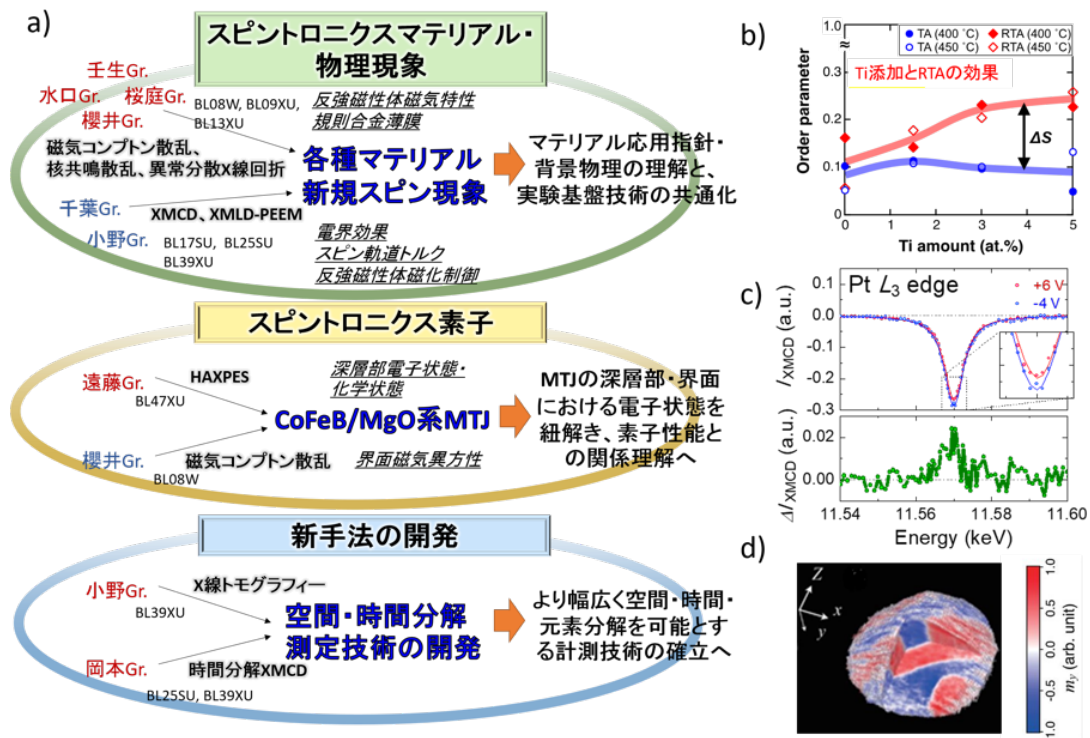


図3 (a) 本新分野創成利用課題の研究アプローチ。(b-d) 得られた成果の例。(b) Ti添加とRapid thermal annealing (RTA)によるFeNi系L1<sub>0</sub>型規則合金における規則化条件の促進<sup>[2]</sup>。(c) 誘導磁気モーメントを有するPtに対し、誘電層を介して電圧を印加した際のPt L<sub>3</sub>吸収端近傍のXMCDシグナル<sup>[9]</sup>。(d) GdFeCoマイクロディスク(直径約7 μm)のGd L<sub>3</sub>吸収端における磁気X線CTの結果<sup>[11]</sup>。図の色は磁化のy方向成分を表す。

### 3-1 スピントロニクス材料評価

スピントロニクスデバイスの構成要素として最近高いニーズがある反強磁性体薄膜の磁気特性を直接的に評価できる実験手法はそれほど多く存在しないが、放射光核共鳴散乱法はその中でも有力な実験手法であり、本研究課題では垂直磁気モーメントをもつ反強磁性薄膜の開発研究にこの手法を積極的に用いた<sup>[1]</sup>。また、スピントロニクスの材料開発にはしばしば規則合金薄膜の作製条件最適化が重要になるが、FeNi規則合金の研究グループとホイスラー型規則合金の研究グループが協力し、異常分散X線回折を用いた結晶規則度の系統的評価(図3(b))を通じた材料開発研究を推進した<sup>[2,3]</sup>。ホイスラー合金薄膜に対しては、磁気コンプトン散乱を用いた電子状態の探査も行った<sup>[4]</sup>。

### 3-2 スピントロニクス物理現象

磁性的電界効果・超高速な磁化操作が期待されるスピン軌道トルク・反強磁性体の磁化制御は、将来のスピンロニクスデバイスでの活用が特に検討されて

いるが、例えばその起源そのものに議論の余地が残されているなど、デバイス応用やその効率化を検討していくための方針を考えるには不足している事項が多かった。そこで、XAS・XMCD・XMLD-PEEMなどの各種放射光測定を駆使することで、これらの包括的理解を進めた。主な成果として、金属における磁性的電界効果の起源解明(図3(c))<sup>[5]</sup>・スピン軌道トルク効率向上とその起源の理解<sup>[6,7]</sup>・反強磁性体磁区のスピントルク制御の直接観察<sup>[8]</sup>が挙げられる。これらの成果により、各種現象の効率を向上させる指針を得たり、現象を可視化して理解する土台を築いた。

### 3-3 スピントロニクス素子

トンネル磁気抵抗 [Magnetic Tunnel Junction (MTJ)] 素子は、すでにMRAMやHDDの読み出しヘッドとして実用化されている代表的なスピントロニクスデバイスの一つである。本課題はMTJ構造に対して放射光を用い、構造や電子状態を明らかにし、その素子性能との関係を明らかにして、スピントロニ

クス素子の基盤技術を向上させた。本課題では、CoFeB/MgO 系 MTJ に焦点を絞って研究を進めた。同系は高い磁気抵抗比を示すことで知られ、最も幅広く研究が進んでいるだけでなく、実用素子としてのデファクトスタンダードともなっている。本 MTJ ではアニールにより界面垂直磁気異方性が上昇するとともに、磁気抵抗比が大きく向上することが知られている。HAXPES 測定を用いて同 MTJ の深層部の電子状態を調べた結果、アニールにより B (ホウ素) の酸化が起こる一方で、Co (コバルト)・Fe (鉄) の微酸化成分が還元されることが明らかとなった。また、CoFeB/MgO 系試料において、スピン選択磁化曲線・軌道選択磁化曲線を測定するだけでなく、磁気量子数別の磁化曲線を取得し、界面垂直磁気異方性や磁化反転挙動との関係について理解を深めた<sup>9)</sup>。

このような、同一マテリアル・構造に対し、異なるグループが異なる高度な測定法を用いて同時に取り組む研究アプローチは、本研究課題のトップダウン式の課題設定と、シナジー効果の典型例である。

### 3-4 新しい手法の開発による放射光技術の向上

上記の各種実験の高精度化・高効率化と、特に実用スピントロニクス素子の動作時の挙動や磁気構造の計測手法の拡大のために、多角的な新規放射光測定手法の開拓に挑んだ。その結果、GHz 帯での動作が要求されるスピントロニクス素子の動作の可視化実現に向け、スピン流・高周波磁場等で励起した磁性体の GHz 帯での元素選択・空間分解磁化ダイナミクスが計測可能な測定系を構築した<sup>10)</sup>。また、磁気 CT イメージング法を確立し、磁気マイクロ微粒子の 3 次元磁区像を取得することに成功した (図 3(d))<sup>11)</sup>。スピントロニクス素子のさらなる高度化への今後の応用が期待できる。

## 4. まとめ

本課題により、スピントロニクスの学術的価値を一層高め、スピントロニクスと放射光研究を統合する新分野が創成されたといえるだろう。また、代表者や分担責任者によるトップダウンの研究テーマの設定と、各研究者間の情報交換を通して、単一チームではなし得ない総合的な成果を挙げる事ができた。この取り

組みは、引き続き新分野創成利用課題 (研究代表者: 小野輝男) として継続して拡大しており、確固たる地位を築きつつある。

このような放射光を用いた新分野創成の取り組みは、スピントロニクス分野においても大きな注目を浴びており、実用デバイスへの拡大や、これまで放射光測定を経験してこなかった研究者の興味喚起と新規参加を促している。これは、今後のユーザーの拡大と最先端研究のさらなるレベルアップに大きく貢献するものであると考えている。

## 謝辞

本新分野創成利用課題は、京都大学の小野輝男教授、群馬大学の櫻井浩教授、東北大学の遠藤哲郎教授・水口将輝准教授・岡本聡准教授、物質・材料研究機構の桜庭裕弥氏、および各グループのスタッフやメンバーとの共同研究です。課題推進に際しては、京都大学の小野輝男教授、東京大学の原田慈久教授、JASRI/SPring-8 の中村哲也氏の多大なるご尽力をいただきました。皆様のご協力に感謝申し上げます。また、本課題は BL08W・BL09XU・BL13XU・BL17SU・BL25SU・BL39XU・BL47XU の 7 つのビームラインを用いて行われました (課題番号: 2015B0901-0904、2016A0901-0906、2016B0901-0907、2017A0901-0907)。各ビームライン担当者に深く御礼申し上げます。

## 参考文献

- [1] K. Mibu, K. Mikami, M. A. Tanaka, R. Masuda, Y. Yoda and M. Seto: *Hyp. Int.* **238** (2017) 92.
- [2] T. Tashiro, M. Mizuguchi, T. Kojima, T. Koganezawa, M. Kotsugi, T. Ohtsuki, K. Sato, T. J. Konno and K. Takanashi: *J. Alloy. Compd.* **750** (2018) 164-170.
- [3] S. Li, Y. K. Takahashi, Y. Sakuraba, N. Tsuji, H. Tajiri, Y. Miura, J. Chen, T. Furubayashi and K. Hono: *Appl. Phys. Lett.* **108** (2016) 122404.
- [4] K. Kumar, A. Dashora, N. L. Heda, H. Sakurai, N. Tsuji, M. Itou, Y. Sakurai and B. L. Ahuja: *J. Phys.: Cond. Matter* **29** (2017) 425805.
- [5] K. T. Yamada, M. Suzuki, A.-M. Pradipto, T. Koyama, S. Kim, K.-J. Kim, S. Ono, T. Taniguchi, H. Mizuno, F.

- Ando, K. Oda, H. Kakizakai, T. Moriyama, K. Nakamura,  
D. Chiba and T. Ono: *Phys. Rev. Lett.* **120** (2018) 157203.
- [ 6 ] Y. Hibino, T. Hirai, K. Hasegawa, T. Koyama and D.  
Chiba: *Appl. Phys. Lett.* **111** (2017) 132404.
- [ 7 ] K. Hasegawa, Y. Hibino, M. Suzuki, T. Koyama and D.  
Chiba: *Phys. Rev. B* **98** (2018) 020405(R).
- [ 8 ] T. Moriyama, K. Oda, T. Ohkouchi, M. Kimata and T.  
Ono: *Scientific Rep.* in press.
- [ 9 ] M. Yamazoe, T. Kato, K. Suzuki, M. Adachi, A.  
Shibayama, K. Hoshi, M. Itou, N. Tsuji, Y. Sakurai and H.  
Sakurai: *J. Phys.: Cond. Matter* **28** (2016) 436001.
- [10] N. Kikuchi, H. Osawa, M. Suzuki and O. Kitakami: *IEEE  
Trans. Magn.* **54** (2017) 6100106.
- [11] M. Suzuki, K.-J. Kim, S. Kim, H. Yoshikawa, T. Tono, K.  
T. Yamada, T. Taniguchi, H. Mizuno, K. Oda, M.  
Ishibashi, Y. Hirata, T. Li, A. Tsukamoto, D. Chiba and T.  
Ono: *Appl. Phys. Express* **11** (2018) 036601.

大野 英男 OHNO Hideo

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 丁目 1-1  
TEL : 022-217-5553  
e-mail : ohno@riec.tohoku.ac.jp

壬生 攻 MIBU Ko

名古屋工業大学 大学院工学研究科  
〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町  
TEL : 052-735-7904  
e-mail : k\_mibu@nitech.ac.jp

千葉 大地 CHIBA Daichi

東京大学 大学院工学系研究科  
〒113-8656 東京都文京区本郷 7 丁目 3-1  
TEL : 03-5841-1165  
e-mail : dchiba@ap.t.u-tokyo.ac.jp

## 長期利用課題報告 1

# スピントロニクスデバイスの外場誘起スピン秩序現象の可視化

京都大学 化学研究所  
小野 輝男

### Abstract

スピントロニクス分野の最近の進展として、電流注入によるスピンホール効果や電圧印加による磁性制御などの外部誘起スピン秩序現象があげられる。これらの現象は高速低消費電力な新規スピントロニクスデバイスへの利用が期待され、世界的に盛んに研究がなされている。しかし、原子レベルでの基本的なメカニズムは多くの部分で未解明であり、高い効率でのスピンの外場制御の達成には電子状態の観点からの現象解明が不可欠である。放射光解析によって電子状態の観点から基礎的メカニズムの解明をすることで、新規スピントロニクスデバイス開発が促進されることが期待される。本研究では、外場印加条件下でのその場観察手法を開発し、外部誘起スピン秩序現象の発現機構を元素選択的な電子状態の直接観測というマイクロ視点から解明することを目指した。

### 1. はじめに

ノーベル賞受賞となった巨大磁気抵抗効果の発見以降、スピンと電荷の2つの自由度を利用するスピントロニクスが急速に発展してきた。巨大磁気抵抗効果がハードディスクの読み取りヘッドに利用され、トンネル磁気抵抗効果を利用した不揮発性磁気メモリが開発されるなど、スピントロニクスは基礎現象の発見と理解がイノベーションに直結する魅力的な研究分野である。

スピントロニクス分野の最近の進展として、電流注

入によるスピンホール効果や電圧印加による磁性制御などの外部誘起スピン秩序現象があげられる。これらの現象は高速低消費電力な新規スピントロニクスデバイスへの利用が期待され、世界的に盛んに研究がなされている。われわれのグループでも、これまで外場誘起スピン秩序現象に関して、電圧印加によるCo超薄膜の磁気転移温度の制御<sup>1)</sup>、Co超薄膜中の磁壁移動速度の電圧による変調<sup>2)</sup>、Fe超薄膜の電圧磁化制御<sup>3)</sup>、MgO/Co/Pt膜の磁気異方性の制御<sup>4)</sup>などの基礎現象の観測と解明を推進してきた。

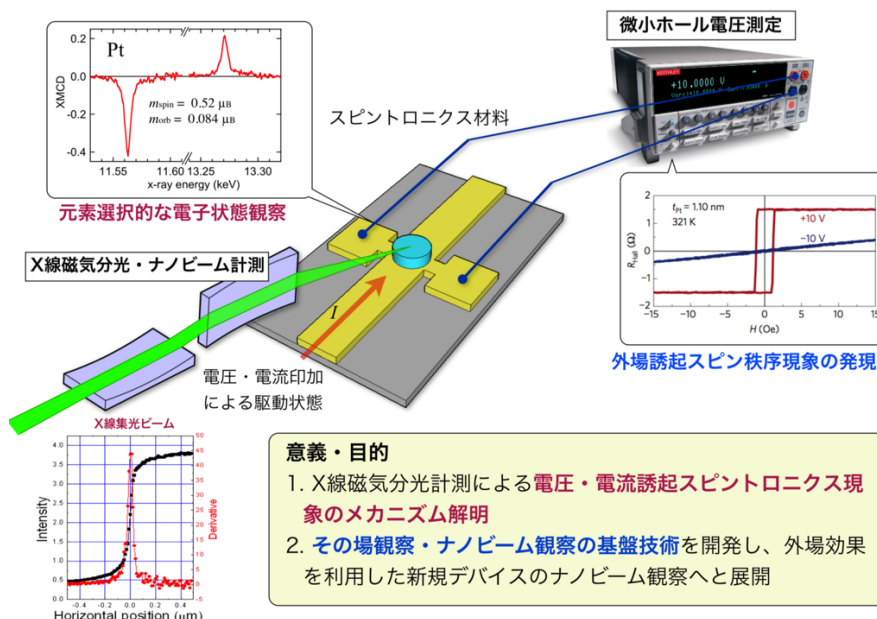


図1 本長期利用課題の概要

2. 本課題の目的

本長期利用課題では、次世代スピントロニクスデバイス開発において鍵となる外場誘起スピン秩序現象を、SPring-8を利用したX線磁気分光測定によって、電子状態の観点から解明することを目的とした(図1)。外場印加条件下でのその場観察手法を開発し、電流注入によるスピンホール効果や電圧による磁性制御などの発現機構を、元素選択的な電子状態の直接観測というミクロな視点から解明することを目指した。

本研究の第一の意義は、SPring-8のナノビーム磁気分光技術を利用し、ミクロな視点からの現象解明を目指す点にある。これまでの研究では、磁化制御やその効率化にその焦点が当てられてきた。しかし、原子レベルでの基本的なメカニズムは多くの部分で未解明であり、高い効率でのスピンの外場制御の達成には、電子状態の観点からの現象解明が不可欠である。放射光解析による基礎的メカニズムの解明を通じて、新規スピントロニクスデバイス開発への貢献が期待される。

第二の意義は、本研究で開発する外場印加状態でのナノビームその場観察手法は、磁性体やスピントロニクス材料のみならず、抵抗変化や相変化を応用した新規メモリ、誘電体デバイスなど、次世代の低消費電力不揮発メモリ材料の解析の強力なツールとなりえることである。近年 SPring-8 で精力的に開発が進めら

れている X 線集光ビームとのコンビネーションにより、放射光によるデバイス解析の適用範囲を飛躍的に拡大することが期待される。

3. 研究概要

上述した研究目的を達成するために、電圧誘起現象とスピン流誘起現象について、BL25SU と BL39XU において X 線磁気円二色性測定を行った。以下では本研究で得られた代表的成果である、(1) Pt/Co の Pt に誘起された磁性の電界効果<sup>[5]</sup>、および (2) ジャロシンスキー・守谷相互作用の微視的理解<sup>[6]</sup>について述べる。

3-1 Pt/Co の Pt に誘起された磁性の電界効果

材料に電界を加えることによって、その電気的性質や磁気的性質を制御することが可能となる。なかでも磁気特性の電界による制御は、磁気デバイスや磁気メモリへの応用を目指して、2000 年初頭から現在まで盛んに研究されてきた。しかし、磁性金属においては、電界による磁性の変化がどのような仕組みで起こるのかについては解明されていなかった。電界が誘起する現象を、物質内部の電子状態と結びつけて理解することができれば、より効率的な磁性の電界制御が可能となり、新たなデバイスの開発につながることを期待される。放射光の特色を活かした先駆的研究として

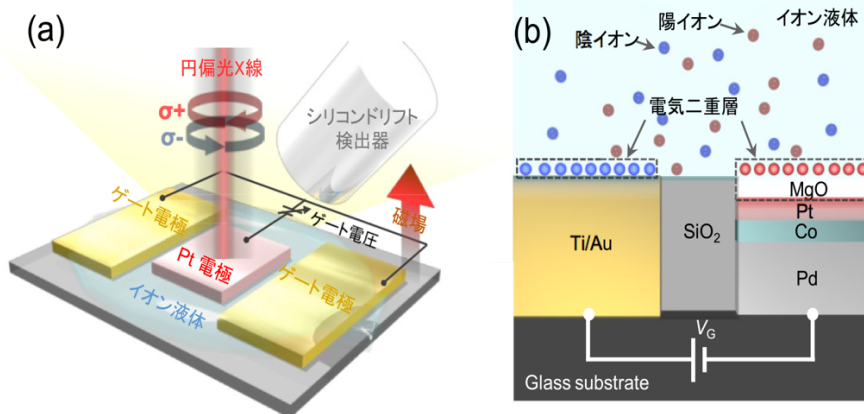


図2 (a) X線磁気分光測定の概略図。試料はPt電極・ゲート電極・イオン液体からなる電圧制御磁気デバイスである。観察対象であるPt製の電極に円偏光X線を照射し、その結果生じる蛍光X線信号を検出する。右(σ<sup>+</sup>)、左(σ<sup>-</sup>)円偏光X線の照射により得られる蛍光X線強度の差分であるXMCD信号と、平均値であるXAS信号を測定する。(b) 試料の断面図。Pt電極の材料にはPd/Co/Pt/MgO積層膜が使用されている。ゲート電極とPt電極はイオン液体に覆われており、電極間にゲート電圧V<sub>G</sub>を加えると、陽イオンおよび陰イオンが両電極表面に蓄積し電気二重層が形成される。電気二重層はナノメートルという非常に狭い極板間隔のコンデンサに相当するため、イオン液体を利用することで比較的低いゲート電圧で巨大な電界をPt電極に加えることができる。



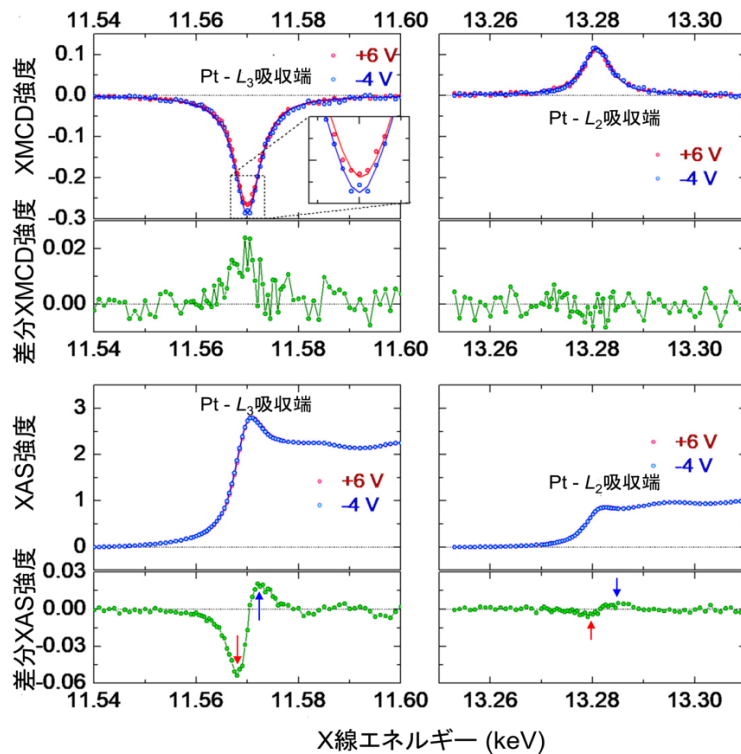


図3 電界を加えた条件下で得られたPtのXMCD(上図)およびXASスペクトル(下図)。差分強度はゲート電圧  $V_G = +6\text{ V}$  を加えた時の信号から  $V_G = -4\text{ V}$  を加えた時の信号を差し引いたものに相当する。 $V_G$ を加えたことによってXMCDスペクトル(磁性)およびXASスペクトル(電子状態)に有意な変化が観測された。この結果を解析し、第一原理計算とも照合することで、差分XASの赤矢印部分がフェルミ準位の変位によって、青矢印部分が主に軌道混成の変化によって、生じていることが明らかになった。

SPring-8で行われた三輪らの研究がある<sup>17)</sup>。最近は磁気メモリで重要となる電界誘起磁気異方性変調のメカニズムが報告されている<sup>18)</sup>。

本研究では、スピントロニクス材料として用いられるコバルト(Co)と白金(Pt)の積層膜を研究対象とした。Ptは単体では磁気モーメントを持たないが、Coなどの磁性体と接合させるとその界面付近のPt原子には誘起磁気モーメントが発生する。このような強磁性状態にあるPtへの電界の効果とその背後にあるメカニズムを調べるために、BL39XUを用いて、強電界を加えた場合のPt電極のX線磁気分光測定を行った(図2)。

図3に実験結果を示す。強電界を加えたことによって誘起されたPtの電子構造と磁性に生じた変化を、X線吸収分光法(XAS)およびX線磁気円二色性(XMCD)を用いてそれぞれ捉えることに成功した。実験で得られたスペクトルの変化(図3)を解析することによって、電界によるPtの電子構造と磁性の変化が、フェルミ準位の変位および軌道混成の変化とい

うPt内部の電子状態の変化を引き起こすマイクロなメカニズムから生じていることが明らかとなった。この実験結果は第一原理計算ともよく一致し、推定されるメカニズムが妥当であることを立証した。本成果は、材料に電界を加えた条件であっても、目的の元素の磁性や電子状態を高精度に観測できるという、放射光の特色を活用したユニークなものである。

本研究で明らかにされた電界効果のマイクロな機構はPt以外のより一般的な磁性金属に電界を加えた時の現象の理解にもつながるため、消費電力の低い磁気メモリ素子や、スピンの流れを利用したスピントロニクス素子開発への貢献が期待される。

### 3-2 ジャロシンスキー・守谷相互作用の微視的理解

磁壁やスキルミオンといった特異なスピン構造を記録に利用する高密度で省電力な磁気ストレージデバイスが提案されている。これらの特異なスピン構造はジャロシンスキー・守谷相互作用(DMI)によって安定化されるため、DMIの微視的理解は基礎科学のみ

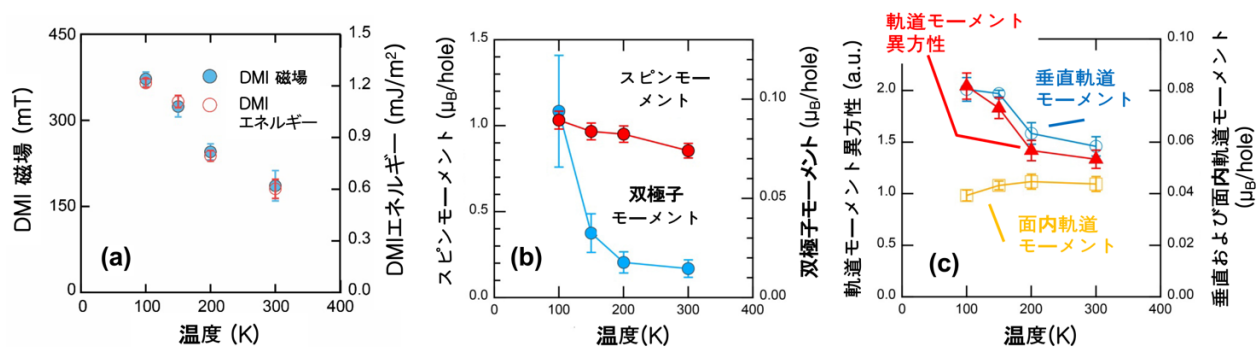


図4 (a) DMI、(b) Coのスピン磁気モーメント、磁気双極子モーメント、(c) 軌道磁気モーメントの各温度依存性。

ならず応用上からも重要である。

本研究では、図4(a)に示すように、まず、Co/Pt 薄膜における DMI による有効磁場 (DMI 磁場) および DMI のエネルギー (DMI エネルギー) が大きな温度依存性を示すことを見出した。この DMI の大きな温度依存性の微視的起源を理解するために、Co(0.6 nm)/Pt(2.0 nm)薄膜の X 線磁気円二色性 (XMCD) 測定を BL25SU と BL39XU にて行った。図4(b)と図4(c)に示すように、磁気双極子モーメントと Co/Pt 薄膜面に垂直な方向の軌道磁気モーメントに DMI 同様の大きな温度依存性が観測された。このことは、DMI と非等方な電子分布に相関関係があることを意味する。このような非等方な電子分布は Co と Pt の軌道混成効果によって生じることが理論的に明らかとなった。

このように微視的な手法によってしか明らかにできない電子分布と DMI の関係について示した研究は、本研究が初めてとなる。これまで幾つかの理論的な予測はあったが、今回の実験的な研究は、こうした理論研究を補うものであり、応用上重要となる大きな DMI を持つ物質の探索などに貢献すると期待される。

#### 4. おわりに

本長期利用課題によって電流や電圧を印加した状態で温度依存性を含めた XMCD 測定が可能となった。元素選択的な電子状態の直接観測というマイクロな視点からアプローチするこれらの測定手法技術は、今後様々な次世代スピントロニクスデバイス開発において活用されると期待される。新規デバイスのナノビーム観察については開発の途上であるが、今後も施設スタッフとの共同研究を通じて、ナノビームによる X 線

磁気分光測定の開発を継続し、スピントロニクス現象の探求を行っていきたい。

#### 謝辞

本長期利用課題 (2015A0117~2017B0117、2015A0125~2017B0125) を利用した研究において多大なご協力を頂いた JASRI の中村哲也氏、鈴木基寛氏、小谷佳範氏に心から感謝致します。本研究の一部は、科研費 (15H05702)、内閣府革新的研究開発推進プログラム (ImPACT) の助成を受けて行われました。

#### 参考文献

- [1] D. Chiba *et al.*: *Nature Mat.* **10** (2011) 853-856.
- [2] D. Chiba *et al.*: *Nat. Commun.* **3** (2012) 888.
- [3] M. Kawaguchi *et al.*: *Appl. Phys. Express* **5** (2012) 063007.
- [4] K. Yamada *et al.*: *Appl. Phys. Express* **6** (2013) 073004.
- [5] K. T. Yamada *et al.*: *Phys. Rev. Lett.* **120** (2018) 157203.
- [6] S. Kim *et al.*: *Nat. Commun.* **9** (2018) 1648.
- [7] S. Miwa *et al.*: *Appl. Phys. Lett.* **107** (2015) 162402.
- [8] S. Miwa *et al.*: *Nat. Commun.* **8** (2017) 15848.

小野 輝男 *ONO Teruo*

京都大学 化学研究所  
〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄  
TEL : 0774-38-3103  
e-mail : ono@scl.kyoto-u.ac.jp

## 長期利用課題報告 2

### P 型 ATPase の結晶構造解析

東京大学 定量生命科学研究所  
豊島 近

#### Abstract

膜蛋白質結晶中の脂質二重膜の可視化を目指し、複数の長期利用課題を通して X 線溶媒コントラスト変調法を開発してきた。4つの状態の  $\text{Ca}^{2+}$  ポンプ結晶に適用した結果、これまでは 1,2 分子しか見えなかった  $\text{Ca}^{2+}$  ポンプを取り囲む磷脂質すべて (~45 分子) を解像できた。その結果、膜蛋白質には磷脂質の「錨」としてともに動くアミノ酸残基と膜に浮かぶための「浮き」となる残基が配置されており、両者の間に緊密な連携があること、脂質二重膜もイオン輸送メカニズムの一部として組み込まれていることが分かった。

#### 1. はじめに

2016A 期から BL41XU を利用して、長期利用課題「P 型 ATPase の結晶構造解析」を、研究室のメンバー（小川治夫准教授、金井隆太助教、梶島佳樹助教）とともに遂行した。この長期利用課題はイオンポンプ蛋白質の作動機構の原子構造による完全な理解を目指すものであり、具体的には (i) 15 年以上にわたって追求してきた筋小胞体  $\text{Ca}^{2+}$  ポンプ ( $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase、SERCA1a) の反応サイクル中間体の結晶構造解析、(ii) 医学的生物学的にはより重要とも言え、そのために激しい国際競争が続いているナトリウムポンプ ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ -ATPase) の複数の状態の結晶解析、(iii) 「結晶中の脂質二重膜の可視化」を行い、膜蛋白質が働く「場」である脂質二重膜と  $\text{Ca}^{2+}$  ポンプとの相互作用を解明すること、の 3つのテーマからなる。それぞれ大きな進歩があったが、特に膜の可視化に関しては、歴代の BL41XU ビームラインスタッフとも協力して X 線コントラスト変調法を開発し、実験開始から実に 15 年かかったことになるが、その成果を *Nature* 誌 2017 年 5 月 11 日号に Article として発表、表紙を飾ることができた<sup>[1]</sup>。また News & Views<sup>[2]</sup>でも単独紹介された。ここではその内容を解説したい。

#### 2. 膜蛋白質結晶中の脂質二重膜可視化

ここ 10 年ほどの間に膜蛋白質そのものに関する我々の知識は飛躍的に増大したが、膜蛋白質が活動する場である脂質二重膜そのもの、或いはその構成成分

である磷脂質 (+コレステロール) と蛋白質の相互作用に関する知識は依然として極めて限定されている<sup>[3]</sup>。これまで、膜の厚さは塩基性 (正の荷電を持つ) アミノ酸残基 (リジン (Lys)、アルギニン (Arg)) やトリプトファン (Trp) によって影響を受け、「蛋白質-磷脂質ミスマッチ (予想される疎水性部分の長さが蛋白質側と脂質二重膜側で異なる)」が起こること、また、Lys・Arg は膜の疎水性部分から長い側鎖を伸ばして (snorkelling と言う) 磷脂質の磷酸部分と強く結合すること (図 1 左)<sup>[4]</sup>、Trp はおそらくカルボニル基と水素結合を作ること (図 1 右下)、また、磷脂質頭部の種類や脂肪酸の長さは安定性や活性に影響を与える

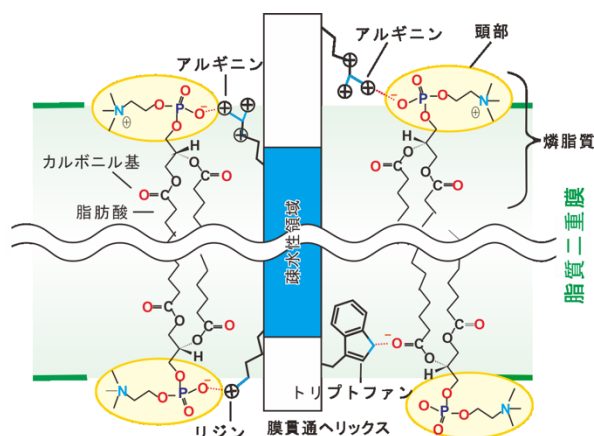


図 1 アミノ酸残基と脂質二重膜を構成する磷脂質間の極性相互作用の模式図。図には代表的な磷脂質である phosphatidylcholine (PC) を示す。磷脂質の脂肪酸部分は 14–20 の炭素鎖からなるが、この図では途中を省略してある。

ことは分かっていたが、45年前に提出された「流動モザイクモデル」<sup>1)</sup>からの本質的な進歩はなかったと言える。例えば、膜貫通ヘリックスの動きに磷脂質は追従するのか、或いは脂質二重膜はどこまで変形できるのか、など分かっていないことばかりであった。実験的にこのような問題にアプローチするためには結晶中の脂質二重膜を可視化することが必要である。

残念ながら、通常のX線結晶解析は脂質二重膜の可視化には無力である。それには幾つかの理由がある。第一に、磷脂質の柔軟性によってその回折強度の大部分は $1/10 \text{ \AA}^{-1}$ 以下の極低角部分に限定されるが(図2)、

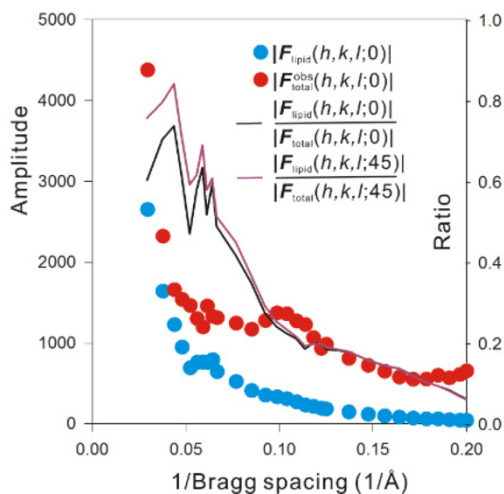


図2 構造因子に対する脂質二重膜の寄与。コントラスト変調剤 iohexol の濃度が 0% (黒線) と 45% (紫線) の場合。蛋白質の電子密度は iohexol 濃度 45% の溶媒とほぼ一致するので脂質二重膜の寄与は最も顕著になり、Bragg spacing  $10 \text{ \AA}$  では iohexol の効果が明らかである。なお、Bragg spacing  $15 \text{ \AA}$  ( $0.07 \text{ \AA}^{-1}$ ) を越える低角領域では脂質二重膜の寄与は構造因子全体の 50%を上回ることに注意されたい。

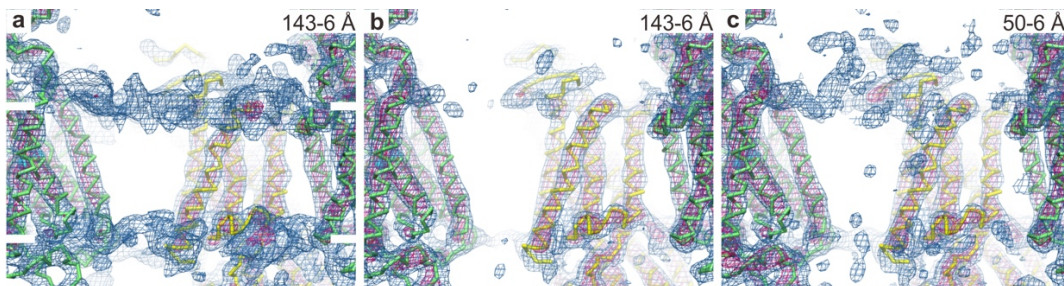


図3  $\text{Ca}^{2+}$ ポンプ結晶 ( $\text{E1} \sim \text{P} \cdot \text{ADP} \cdot 2\text{Ca}^{2+}$ 状態) の膜貫通領域の電子密度図に対する最低分解能領域の構造因子の影響。電子密度図に寄与した反射の分解能を示す。電子密度図は  $0.7 \sigma$  で、図の右上に示した領域の反射を用いて描き、脂質二重膜の膜面に並行に見ている。(a) 溶媒コントラスト変調由来の位相を用いた場合。(b),(c) 原子モデル由来の位相を用いた場合。(a)の白い横棒は磷脂質の磷酸機部分のおよその位置を示す。

通常の結晶解析では極低角の反射強度の測定は行わないし、そもそも蛋白質の原子モデルの構築のためには不必要である。さらに、通常の解析では脂質二重膜の存在は無視し、蛋白質の外側は均一な溶媒で満たされているものと仮定して精密化を行う。これは蛋白質結晶中の脂質二重膜の現実的モデルを簡単には構築できない以上、致し方のないことではあるが、このような結晶解析はすべて誤りを含んでいることを忘れてはなるまい。

それでは、(0,0,1)反射のような最低角からのすべての反射強度を測定すれば十分かというところではない。このような低角領域では脂質二重膜に由来する反射強度は蛋白質に由来する強度より大きくなるため(図2)、反射点の位相は蛋白質に由来する位相とは大きく異なるからである。実際、すべての反射点を用い、蛋白質原子モデル由来の位相で電子密度図を書きみると、膜は見事に消えている(図3(b))。部分的に低角を入れたときに見える電子密度(図3(c))は、堂々と論文になったりしているが<sup>2)</sup>、雑音に過ぎない可能性が高い。

実際、通常の結晶解析では、蛋白質の膜貫通領域と直接接触している第一層の磷脂質すら解像されず、蛋白質のセグメント間(膜貫通ヘリックス間の隙間とか、隣接する蛋白質分子との隙間とか)に挟まれて固定されている場合にのみ解像される。すなわち、アクアポリン0の二次元結晶<sup>3)</sup>のような例外的な場合を除き、第一層の磷脂質のせいぜい2,3分子が解像されるに過ぎない<sup>4)</sup>。このため、低角の位相を正しく決定できれば個々の磷脂質分子を解像できるはずだという確信は、筆者にしてもまったくなかった。

3. 脂質二重膜の可視化によって理解されたこと

脂質二重膜を可視化しようと考えたのは、不完全な結晶解析に不満だったためだけではない。私たちは  $\text{Ca}^{2+}$  ポンプ SERCA1a を対象に、その反応過程のほぼ全体をカバーする 10 状態の結晶構造を決定し、イオン能動輸送機構の原子構造に基づく理解を推進してきた<sup>9)</sup> (図 4)。その結果、膜貫通ヘリックスは膜に垂直な方向にも 10 Å 以上動くこと、脂質二重膜はポンプのメカニズムの一部として組み込まれているらしいことは理解された<sup>10)</sup>。しかし、例えば、そのような膜貫通ヘリックスの大きな動きに対し磷脂質は追従して一緒に運動するのか、そもそも二重膜はどれほど凸凹しているのか、10 本ある膜貫通ヘリックスのうち M7-M10 はほとんど構造変化を起こさないから反応サイクル中、ずっと同じ向きで膜に挿入されると考えてよいのか、といった基本的疑問には答えるすべがなかった。従って、イオンポンプの原子構造に基づく機能の理解のためには、少なくとも、第一層の磷脂質分子すべてを解像し相互作用の詳細を知る必要がある、つまり、当たり前のことなのだが、膜蛋白質を理解するためには脂質二重膜をも知る必要があり、可視化のための実験的手法を確立する必要があると確信するに至った。

そこで、X線溶媒コントラスト変調を利用することを考え、方法論的開発とデータ収集を行ってきた。その結果、 $\text{Ca}^{2+}$  ポンプの 4 つの状態 ( $\text{Ca}^{2+}$  結合直後の  $\text{E1} \cdot 2\text{Ca}^{2+}$ 、ATP から蛋白質へのリン酸転移反応の遷移状態であり細胞質側ゲートは閉位置にある  $\text{E1} \sim \text{P} \cdot \text{ADP} \cdot$

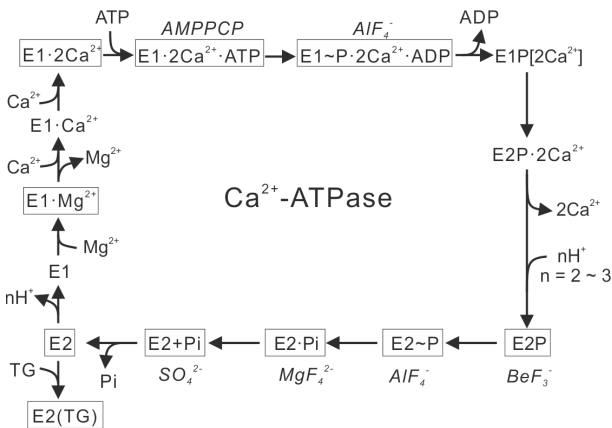


図 4  $\text{Ca}^{2+}$  ポンプ (SERCA1a) の反応ダイアグラム。四角で囲った状態は構造決定済み。四角の外にはその状態を安定化するために用いた基質アナログを示す。

$2\text{Ca}^{2+}$ 、膜内に結合していた  $\text{Ca}^{2+}$  を小胞体内腔側に放出した直後であり蛋白質に結合したリン酸の加水分解反応の遷移状態である  $\text{E2} \sim \text{P}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  を放出し終わった

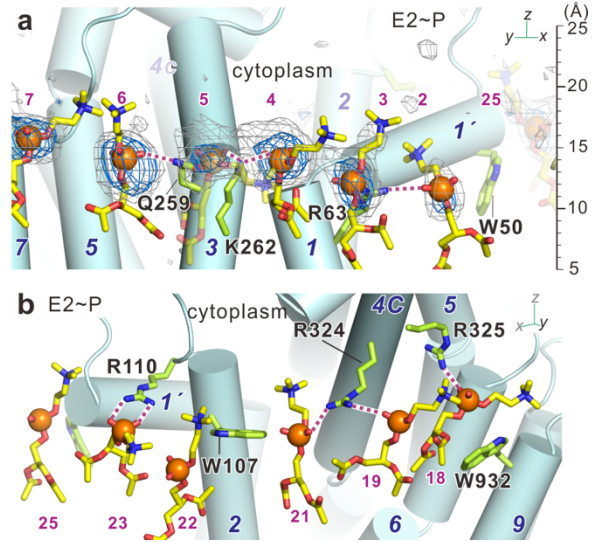


図 5  $\text{Ca}^{2+}$ -ポンプの膜貫通領域を取り囲む磷脂質 (E2~P 状態)。(a) X線溶媒コントラスト変調による 3.2 Å 分解能での  $2|F_o| - |F_c|$  電子密度図 (青色のネット 1.0  $\sigma$ 、灰色のネット 0.7  $\sigma$ : 低角は溶媒コントラスト、高角は原子モデルによる位相を結合したもの) とそれに基づく磷脂質の原子モデル (phosphatidylcholine の頭部からカルボニル基までを棒で、オレンジ色の小球で磷原子を示す)。水色の円筒とイタリックの数字は膜貫通ヘリックス (M1-M10) を示し、紫色の小さい数字は本研究によって付与された磷脂質の ID である。アミノ酸残基の標記は K がリジン、Q がグルタミン、R がアルギニン、W がトリプトファンに対応する。紫色の破線は水素結合の候補を、(a) の欄外のものさしは脂質二重膜の中心からの距離を示す。(b) は (a) とほぼ同じ領域を反対側から見たもの。(a) では正の荷電を持つアミノ酸残基 (R63、K262 はその例) は膜内の疎水性部分から側鎖を伸ばして (snorkelling) 負の荷電を持つ磷脂質のリン酸基と強く結合し、磷脂質の「錨」となる。この場合、膜貫通ヘリックスの運動とともに磷脂質は上下運動する。(b) のように細胞質側からリン酸基と結合する場合は、「錨」として (コンフォメーション変化のスイッチとして) 磷脂質を利用しており (R110、R324、R325 はその例)、反応サイクル中の状態の遷移によるヘリックスの運動に際し相手となる磷脂質を変える。トリプトファンは溶媒と脂質の界面に存在し、磷脂質頭部からカルボニル基の位置まで広く分布する (図 1 のようにカルボニル基と水素結合を作るとは限らない)。

後の安定状態 E2) (図 4 参照) に関し、脂質二重膜を可視化することができた<sup>11)</sup>。これまでの結晶解析では蛋白質の隙間に挟まれた脂質 1,2 分子しか解像できなかったが<sup>12)</sup>、Ca<sup>2+</sup>ポンプを取り巻く個々の磷脂質をすべて (蛋白質 1 分子あたり約 45 分子) 解像することに成功し、磷脂質頭部の原子モデルを置くことができた。さらに、低角の位相はコントラスト変調から、高角の位相は原子モデルからとなるように位相を結合することで、3.2 Å 分解能での通常の結晶学的精密化にも成功し (図 5(a))、分子動力学シミュレーションにより得られた原子モデルを確認することもできた (図 6(b))。この結果、ポンプ蛋白質と磷脂質の相互作用の詳細が明らかになり、これまで磷脂質を同じように固定すると考えられてきた Lys/Arg と Trp/Tyr は明確に異なる役割を持ち協働していることなど、まったく新しい知見が得られた。すなわち、脂質二重膜は膜蛋白質を浮かべている単なる海のようなものではなく、機能発現に能動的に係わっていること、そのため、磷脂質をも含む系全体の原子モデルからメカニズムを考える必要があることが明確になった。今や、蛋白質を構成するアミノ酸残基に通し番号がつけられているように、Ca<sup>2+</sup>ポンプに関しては、磷脂質にも

通し番号をつけて議論できるようになったのである (図 5)。

以下に主な結果をまとめる。

- ・膜は決して平らではなく (図 5)、厚さ (磷脂質頭部の磷酸基間の距離) も (30.9~33.4 Å : 図 6)、蛋白質を取り囲む磷脂質の数 (44~48) も反応サイクル中で変化する。それに伴って最適の位置に戻そうとする力が働くはずで、その力は構造変化の駆動力として使われている可能性がある。
- ・膜貫通ヘリックスの運動に伴い、膜内から側鎖を伸ばして (snorkelling して) いる Lys/Arg と結合している磷脂質 (図 1, 5) は一緒に動く。すなわち、ヘリックスの膜面に対し垂直な方向の運動に追従し局所的な歪みを生み出す。それは、ヘリックスを元の位置に戻す力として働くだろう。
- ・一方、膜外 (細胞質側) から磷脂質と結合する Arg は相手となる磷脂質を変え、その磷脂質をコンフォメーション変化の際の「錨」として使っている (図 1 右上、図 5 の R324)。Arg324 の変異体、特に Glu 変異体では Ca<sup>2+</sup>ポンプの ATP 加水分解反応は著しく阻害されるが、その理由は、他の残基との相互作用がないためこれまで理解できなかった<sup>11)</sup>。

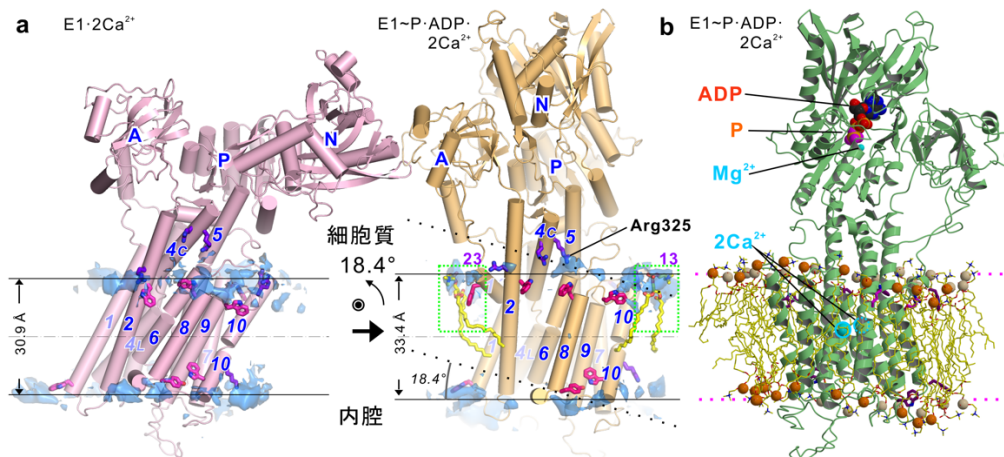


図 6 反応サイクル中の Ca<sup>2+</sup>ポンプ分子全体の配向の変化。(a) ATP 結合と磷酸の転移による脂質二重膜に対する配向の変化。水色の塊はコントラスト変調で得られた脂質二重膜の電子密度 (磷脂質頭部に対応) を示す。4.5 Å 分解能で計算し、0.44 e<sup>-</sup>/Å<sup>3</sup> で描いた。水平線 (実線) は得られた磷脂質の磷原子の、点線は M7-M10 ヘリックスの膜に対する配向は変わらないとしたときに予想される磷原子の平均位置を示す。E1·2Ca<sup>2+</sup> → E1~P·ADP·2Ca<sup>2+</sup> (結合した Ca<sup>2+</sup> を膜内に閉じ込める過程) では分子全体が 18.4° 傾斜する。両親媒性ヘリックス M1 周辺 (PL23) と M10 付近の磷脂質分子 (PL13) の原子モデルをスティック (緑四角) で示す。赤い棒はトリプトファン、青の棒は塩基性残基を、斜体数字は膜貫通ヘリックスの番号 (M1-M10) を示す。(b) Ca<sup>2+</sup>ポンプと脂質二重膜の原子モデル (E1~P·ADP·2Ca<sup>2+</sup> 状態)。磷脂質頭部は結晶構造解析によって、脂肪酸部分は 100 ns の分子動力学シミュレーションによって得られたもの。オレンジ色の球は磷原子を示す。(a) とは見ている方向が反対。

- ・膜に対する蛋白質の向きを決めるのは主として Trp である (図 5)。Trp は溶媒と脂質の界面に存在し<sup>112)</sup>、「浮き」の役割を持つ。これまでに想定されていたように磷脂質のカルボニル基と水素結合を作る (図 1 右下) わけではなく、磷酸基からカルボニル基までの広い範囲をカバーする (四重極相互作用によるらしい<sup>113)</sup>) ので、膜面に沿ったヘリックスの大きな (>20 Å) 動きにも適している (例えば、E2 → E1・2Ca<sup>2+</sup> 遷移における M1' や M2 ヘリックスの運動)。
- ・膜貫通ヘリックスの運動に伴って、ヘリックスの疎水性部分が溶媒に露出しないように、また親水性部分が脂質二重膜の疎水性部分に露出しないように、蛋白質側は複雑な構造変化を起こす。特に注目すべきは、分子全体の傾きが 20° 近く変化することである (図 6)。このときには、Trp4 残基からなるベルトが形成され、いつも膜面と平行になっていた。Trp が脂質二重膜の両方の層にあるのは M10 付近に限られ、そこが分子全体の傾斜の際の軸となっていると考えられる。膜に垂直な方向へ大きく動くのは分子のほぼ反対側にある M2 であるから、これは、分子全体の小さな傾きの変化で膜貫通ヘリックスの大きな運動を許すためのメカニズムと考えられる。

#### 4. 溶媒コントラスト変調法

以下では脂質二重膜の可視化のための方法論を少し議論しておきたい。ここでの具体的課題は、 $1/10 \text{ \AA}^{-1}$  より低角の反射に対し正しい実験的位相を与えることである。この目的のためには 2 つの方策が考えられ、1 つは標準的な (i) 多重同型置換法 (multiple isomorphous replacement: MIR) であり、もう 1 つは (ii) 溶媒コントラスト変調法 (solvent contrast modulation) である。(i) の多重同型置換法では、重原子を含む溶液に蛋白質結晶を浸漬し、異なる位置に結合した重原子による反射強度の変化から位相を決定する。X 線結晶解析における位相決定のための標準的方法であるが、極低角での位相決定には幾つかの問題点がある。元来、分子量 10 万を越える蛋白質による回折振幅を分子量 100 程度の重原子が変化できる割合はごく小さい。特に、本課題の場合、脂質二重膜からの寄与は蛋白質からの寄与の 2 倍程度あり (図 2)、重原子による寄与はさらに小さくなる。より深刻かもしれない問題は、重原子が非特異的に或いは小さい占有率で多数の場所に結合することであり、それがどの程度反射強度に影響を与えるかは見積もる手段がない。実際、重原子の添加によって、その重原子が特定の場所に結合するかどうかによらず、溶媒の電

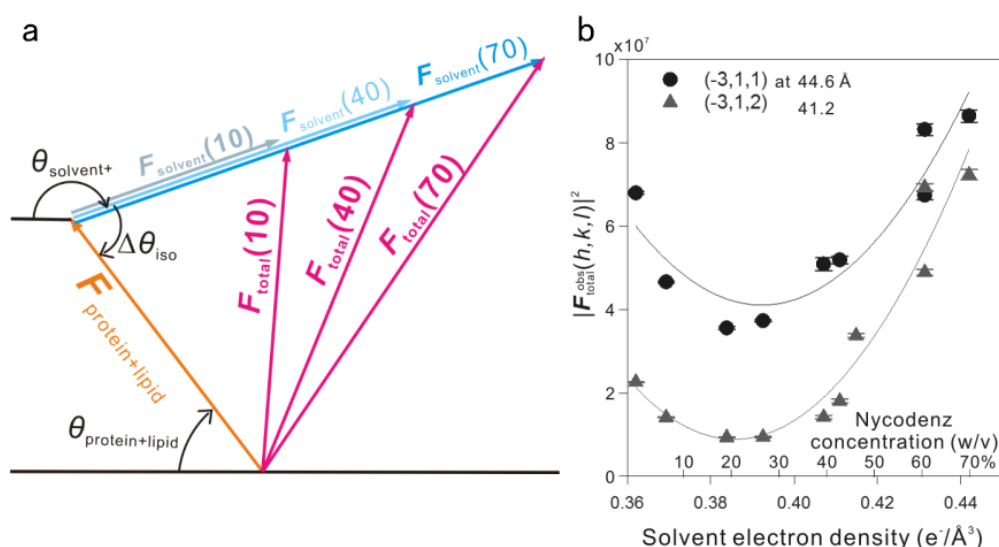


図 7 (a) 実測される回折振幅と、蛋白質+脂質二重膜の構造因子、溶媒の構造因子との関係。コントラスト変調剤の濃度  $\xi = 10, 40, 70\%$  の場合について示す。各回折点の回折強度は(b)に示すように、溶媒の電子密度  $\langle \rho_{\text{solvent}} \rangle$  ( $\xi$ ) の二次関数として変化する。ここで  $\theta_{\text{solvent}}$  は溶媒の構造因子  $F_{\text{solvent}}$  の位相部分、など。(b) acentric 反射  $(-3, 1, 1)$  における構造因子の 2 乗  $|F(-3, 1, 1)|^2$  を溶媒電子密度の関数としてプロットしたもの。線は最少二乗法による理論曲線。コントラスト変調剤の濃度が低いところでは回折振幅は溶媒の電子密度変化に敏感であることに注意。

子密度は変化し、各反射点における散乱強度は溶媒の電子密度の二次関数として変化する(図7(b))。また、通常の結晶化条件下では二次関数の極小からは大きくずれているため、散乱強度は溶媒の電子密度の変化に敏感である(コントラスト効果)。

溶媒コントラスト変調法は、蛋白質の概形の決定手段として開発されたが、中性子回折により膜蛋白質結晶中の界面活性剤ミセルを可視化するための標準的な方法となった<sup>14)</sup>。溶媒の散乱能(X線であれば電子密度)を変えれば、対象とするもの見え方は大きく変わる。もし蛋白質を取り囲む溶媒の密度を蛋白質の密度と一致させれば、蛋白質と溶媒は区別がつかなくなり、密度が異なる他の部分(界面活性剤のミセルや脂質二重膜など)だけが見えるため、モデリング可能になる。しかし、精密化の方法はなく、情報量はごく少なかった。一方、このような変化は、回折強度の変化として反映されるだろうから(図7)、その変化分を差し引くことができれば、固定部分(つまり蛋白質+脂質二重膜)の密度情報が得られると期待できる。だが、溶媒密度変化による回折強度変化から出てくる位相( $\Delta\theta$  iso)は、必要としている試料全体、或いは固定部分の位相と直接的には結びついていない(図7(a))。従って、コントラスト変調から出てくる位相は、答えが正しいかどうかの検証には使えるにしても、直接的には使い難い。そのため、初期位相(つまりは脂質二重膜のモデル)がどうしても必要となるが、それを用いて初期電子密度図を計算できれば、蛋白質部分と溶媒部分のflatteningを使って、位相改良が可能なのである。

ここで極めて有効であったのが、溶媒置換率( $P_{ex}$ と表記する)という概念を導入したことである<sup>11)</sup>。試料中のすべての点の電子密度は溶媒の電子密度に依存せず一定であるか、溶媒電子密度の一次関数として直線的に変化すべきであると考えられる(図8)。その傾きを $P_{ex}$ とし、蛋白質や脂質二重膜の内部では $P_{ex}$ は0であり、溶媒部分は1、境界領域では0と1の間の値をとるとする。まず、蛋白質部分の電子密度は原子モデルから計算される値にし、溶媒部分の平均電子密度は溶媒の密度を実測して得られた値に設定する。脂質二重膜に関しては膜に垂直な方向のみに電子密度が変化する次元単純モデルからスタートする<sup>11)</sup>。 $P_{ex}$

のマップを計算し、蛋白質部分は0に、溶媒部分は1に値を制限するとともに、平滑化することによって雑音を減らすことができる。これによって、データセット間の整合をとることができるようになり、データの冗長性を位相改良にうまく結びつけることができた。

コントラスト変調剤としては幾つかの可能性が考えられる。脂質二重膜の可視化を目指す以上、磷脂質頭部の磷酸基と結合する物質は避けたい。従って、正の荷電を持ったイオン性物質は最初の試みから除外すべきであろう。Fourmeらは電子顕微鏡法で実績のあるaurothioglucoseを提案していた<sup>15)</sup>。我々も試したが、この化合物は照射損傷が激しく溶解度も高くない上に、結晶格子を破壊することが判明した。分子量の小さい物質は分解能の点からはよさそうなのだが、分子間の隙間に深く入りこむ結果、結晶格子を破壊する傾向が強いようである。実際、非常に有用であることが判明したのは、iohexolである(図9: Histodenzとしてシグマから売られている)<sup>16)</sup>。X線造影剤として開発されたものであり、密度勾配遠心などにも使われる。水に対する溶解度は極めて高く80%(w/v)を越えるが可変できる電子密度は $0.1 \text{ e}^-/\text{\AA}^3$ に過ぎず、実効的な分解能は $5 \text{ \AA}$ 程度にとどまると考えられる<sup>11)</sup>。

このようにX線コントラスト変調ではコントラスト

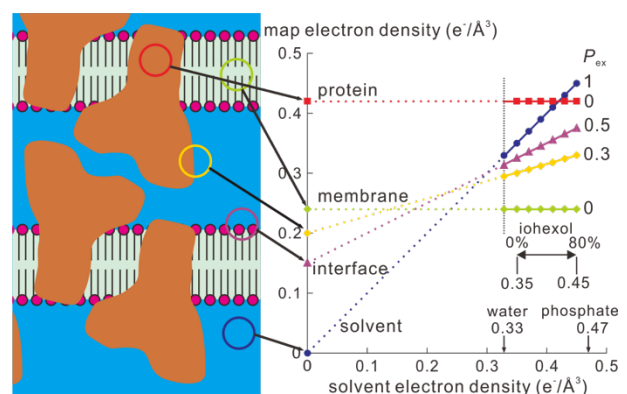


図8 溶媒置換率  $P_{ex}$ 。溶媒コントラスト変調では加えるコントラスト変調剤の濃度を変えて溶媒の電子密度を変化させる。結晶全体の電子密度分布から各濃度での溶媒と蛋白質の電子密度を差し引くことで脂質二重膜の電子密度図が得られる。その際、各点における電子密度は、蛋白質や膜部分では変化せず( $P_{ex}=0$ )、溶媒部分や境界領域では各点の溶媒置換率  $P_{ex}$  に応じて溶媒密度の一次関数として変化すべきであることを利用する。0–80%の iohexol で変化する電子密度 ( $0.1 \text{ e}^-/\text{\AA}^3$ ) を図中に示した。



の可変範囲が狭く、図8のように、x軸に関しては極めて狭い範囲のデータから直線の傾きとy切片を求めることになっている。従って、高精度の回折強度データの測定が要求される。幸運であったことは、Ca<sup>2+</sup>ポンプの結晶化に必要であった polyethylene glycol の濃度は10%程度と低く、多くの場合、iohexol 濃度70% (w/v) を越えることができたため、溶媒コントラスト変調の可変範囲は比較的広がったことである。測定精度の問題もあるが、結晶化条件が、蛋白質の電子密度とほぼ一致し、コントラストを逆転できる40–50% iohexol を許容できることは最低限必要である。一方、iohexol を用いた場合、その大きさから、5 Å より高分解能の回折点の強度はiohexolの濃度に依存しないと考えられる。従って、原子モデルを用いた絶対スケールリングが可能のはずである。実際、高分解能で構造決定したCa<sup>2+</sup>ポンプ蛋白質の原子モデルを用い、初期的な温度因子の補正や同型性の評価も可能であった。これは、X線を用いることの非常に大きな利点である。そのため、データ収集にあたっては、分解能3.2 Å程度までのデータを精度良く集める必要がある。

一方で、溶媒領域を決定するマスクの問題は深刻である。現状の精密化プログラムでは原子モデルの外側を一定の電子密度で埋めることしかできない。従って、蛋白質+脂質二重膜領域の中は原子モデルで埋まらない限り、真空である。且つ乱れた構造（「一様な密度」と言ってもよいが）を原子モデルで表現するのは極めて困難である。そのために、部分的な脂質二重膜の原子モデルでは、通常の精密化プログラムを用いた場合、極低角まで含めるとR因子はかえって悪くなる。そのため、電子密度図（図5(a)）の計算では、極

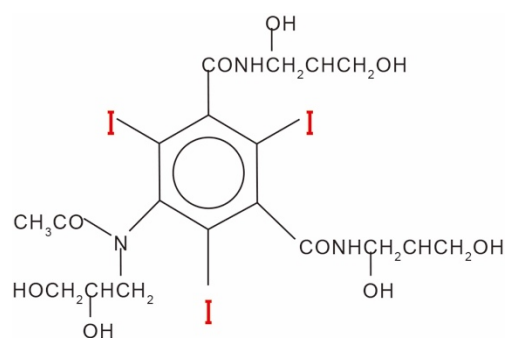


図9 iohexolの化学構造<sup>[6]</sup>。この物質は水に80% (w/v) 可溶であり、溶媒電子密度を約  $0.10 \text{ e}^-/\text{\AA}^3$  上昇させることができる。

低角はコントラスト変調による位相を、高角は原子モデルによる位相を用いるように phase combine した構造因子を使う必要がある。

## 5. データ収集に関して

最初期（2002年頃）の予備的実験はBL40B2を用いて行ったが、有用なデータが得られるようになったのは、BL41XUで、当時のビームライン担当者であった清水伸隆博士、酒井久伸博士の協力を得てHeパスを設置し、カメラ長600mm、イメージングプレートX線検出器R-Axis Vを用いることによってすべての反射点の回折データを収集できるようになってからである（2004年、図10）。原子モデルを用いたスケールリングのために必要な3~4 Å分解能の反射点とともに、検出器を飽和させることなく極低角の反射強度を測定しようとする、検出器のdynamic rangeは16 bitでは使い物にならず、20 bitでも露光を1/10以下にして再露光する必要があった。そのために、CCDが検出器として使えるようになってもR-Axis Vを使う必要があり、異様に時間のかかる実験であった（結晶系がC2であったため、180フレーム×2分=6時間）。その後、二次元フォトンカウンティング検出器PILATUS3 6Mが導入され、測定時間そのものは大幅に（10分以下に）短縮されたが、やはり部分

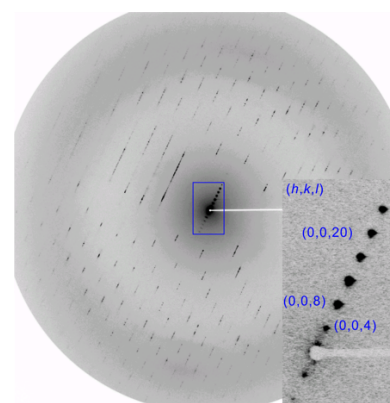


図10 Ca<sup>2+</sup>ポンプ結晶 (E2 (TG) 状態) のX線回折パターン。60% (w/v) のiohexolを含む緩衝液に浸漬したもの。BL41XUでR-Axis Vイメージングプレート検出器を用い3.0 Å分解能まで記録した。カメラ長600mm、波長1 Å。この結晶の対称性はP4<sub>1</sub>2<sub>1</sub>2であり、格子長は、 $a = b = 71.56$ 、 $c = 586.14$  Åである。右下には四角で囲んだ領域の拡大を示す（但し、露光は落としてある）。

的には2~3条件での測定が必要なフレームがあり、長期利用課題がなければ実行不可能な研究であった。

理論的にはすべての反射点の回折強度は溶媒電子密度の二次関数として変化するので<sup>15)</sup>、1つの状態の構造決定には最低3つ(実際には10点程度)の溶媒密度での測定が必要である(図7(b))。結晶はすべて微量透析法で得られたものであり、再現性も非常に良好であった。1つの成分だけの変化は容易であり、且つ、厳密な制御が可能であったことも大きかった。結晶を拾うときの乾燥の問題も低温室(10°C)で行うことで解決できた。但し、高濃度のiohexol存在下で結晶を拾うことは、溶媒が相当に粘稠になり、且つコントラストマッチングのために結晶が見えなくなるなど、ある程度の熟練を要するのですべて筆者が行った。

## 6. おわりに

本研究で用いたX線溶媒コントラスト変調法は、大きな揺らぎを持った構造を可視化するために有用な方法であるが万能ではない。初期位相を必要とするし、高濃度のpolyethylene glycolを沈殿剤として結晶化している場合には、溶媒コントラスト変調の余地はない。さらに、コントラスト変調剤の大きさによる分解能の問題があり、溶媒の電子密度の変調範囲が狭いことによる精度の問題もある。そのような問題のない、H<sub>2</sub>O/D<sub>2</sub>Oによるコントラスト変調が可能な中性子回折への発展が期待されるが、ビーム強度の問題はまだ深刻であり、巨大結晶が必要である。そこで、多重同型置換法のデータ収集を工夫して低角の位相情報を得る手段を確立することも考えている。いずれにせよ、低角の位相決定の問題を克服し、脂質二重膜からプロトンまでを含む真の構造生物学を目指している。そのための方法論を今後の長期利用課題の中で追求したい。

## 謝辞

本研究はSPring-8の長期利用課題(2009B0025、2013A0049、2016A0133)の一部と一般課題2012B1486としてなされたものである。コントラスト変調の解析ソフトウェアは研究室の乗松良行博士とともに開発したものである。回折データ収集にあたってはSPring-8 BL41XUの歴代の担当者、特に、清水伸隆博士、酒井久伸博士、長谷川和也博士、奥村英

夫博士の絶大なご支援をいただいた。ここに記して御礼申し上げたい。また、結晶を作製してくれた杖田淳子さん、平田絢美さん、岩澤志穂さん、データ収集を手伝ってくれた研究室のメンバーに感謝したい。

## 参考文献

- [1] Y. Norimatsu, K. Hasegawa, N. Shimizu and C. Toyoshima: *Nature* **545** (2017) 193-198.
- [2] K. J. Sweadner: *Nature* **545** (2017) 162-164.
- [3] F. M. Goñi: *Biochim. Biophys. Acta* **1838** (2014) 1467-1476.
- [4] J. A. Killian and G. von Heijne: *Trends Biochem. Sci.* **25** (2000) 429-434.
- [5] S. J. Singer and G. L. Nicolson: *Science* **175** (1972) 720-731.
- [6] Y. Sonntag, M. Musgaard, C. Olesen, B. Schiøtt, J. V. Møller, P. Nissen and L. Thøgersen: *Nature Comm.* **2** (2011) 304.
- [7] T. Gonen *et al.*: *Nature* **438** (2005) 633-638.
- [8] N. D. Drachmann, C. Olesen, J. V. Møller, Z. Guo, P. Nissen and M. Bublitz: *FEBS J.* **281** (2014) 4249-4262.
- [9] C. Toyoshima: *Arch. Biochem. Biophys.* **476** (2008) 3-11.
- [10] C. Toyoshima: *Biochim. Biophys. Acta* **1793** (2009) 941-946.
- [11] K. Yamasaki, T. Daiho, S. Danko and H. Suzuki: *J. Biol. Chem.* **279** (2004) 2202-2210.
- [12] W. M. Yau, W. C. Wimley, K. Gawrisch and S. H. White: *Biochemistry* **37** (1998) 14713-14718.
- [13] S. Chakravarty, A. R. Ung, B. Moore, J. Shore and M. Alshamrani: *Biochemistry* **57** (2018) 1852-1867.
- [14] E. Pebay-Peyroula, R. M. Garavito, J. P. Rosenbusch, M. Zulauf and P. A. Timmins: *Structure* **3** (1995) 1051-1059.
- [15] W. Shepard, R. Kahn, M. Ramin and R. Fourme: *Acta Crystallogr. D* **56** (2000) 1288-1303.
- [16] D. Rickwood, T. Ford and J. Graham: *Anal. Biochem.* **123** (1982) 23-31.

## 豊島 近 TOYOSHIMA Chikashi

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

## 第 67 回デンバー X 線会議 (DXC2018) 報告

公益財団法人高輝度光科学研究センター  
利用研究促進部門 今井 康彦

## 1. はじめに

デンバー X 線会議 (Denver X-ray Conference, DXC) が、2018 年 8 月 6 日～10 日の 5 日間、米国コロラド州ウェストミンスターのホテル (The Westin, Westminster) で開催された。ウェストミンスターは、デンバーから北西へ車で 20 分ほどのところにある。この辺りは、米国で 8 月上旬に雨が少なく気温も高過ぎないことから、会場として選ばれたそうである。DXC は X 線分析をテーマとした年次開催の会議であり、今回が第 67 回目という長い歴史をもった会議である。会議のメインテーマは、実験室系の X 線を使った分析であるが、放射光や中性子ビームライン (BL) の装置のアップグレードや新しい手法の開発なども取り上げられていた。プログラムは、前半の 2 日間のワークショップとポスターセッション、後半の 3 日間の口頭発表セッションで構成されていた。例年このような構成になっているようである。セッションの会場は 4 つあり、平行に設定されていた。事前登録の参加者は 211 名、企業展示の参加者が 146 名、企業展示が 33 社であった (日本からの参加者は 14 名)。企業展示からの参加者が非常に多いのが特徴である。企業展示は、実験室系の X 線分析装置とその周辺機器などの実機を持ち込んで行われ、この規模の会議とは思えないほど力が入った本格的なものであった。

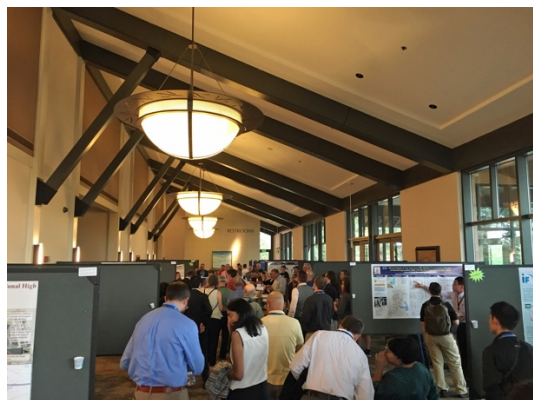


図 1 ポスターセッションの様子

## 2. ワークショップ

ワークショップのプログラムを次に示す。

8 月 6 日 (月) 午前

- Material Identification – The good, bad and ugly
- Selecting Software for Rietveld Refinement I
- Basic XRF
- Quantitative Analysis of XRF I

8 月 6 日 (月) 午後

- Quantitative Phase Analysis
- Two-Dimensional Detectors
- Selecting Software for Rietveld Refinement II
- Quantitative Analysis of XRF II
- Energy Dispersive XRF

8 月 7 日 (火) 午前

- Characterization of Thin Films
- Line Profile Analysis
- Micro XRF
- Sample Preparation of XRF

8 月 7 日 (火) 午後

- Imaging
- Non-Ambient
- Trace Analysis
- Handheld XRF – The Silver Bullet or Fools Gold?

この中から 3 件のワークショップについて報告する。

(1) Material Identification – The good, bad and ugly  
本ワークショップでは、会議のオーガナイザーの一人でもある International Centre for Diffraction Data (ICDD) の Timothy Fawcett 氏と Justin Blanton 氏から粉末 X 線回折による相同定 (phase identification) に関する講義が行われた。

はじめに、相同定は指紋照合と同じような技術を用

いていると紹介された。指紋の照合は、指紋から中心点・分岐・端点・三角州といった特徴点を抽出し、登録されているデータベースと比較することで行われているらしい。これと同様に、構造が分からない物質の相同定は、X線回折のデータを測定し、データベースと照合することで行われる。この分析でしばしば問題となるのが、X線回折データの質であり、相同定を難しくし、誤った答えを導くこともある。データの質を悪くする典型的な要因には、粒度が大きい・試料が配向している・重元素が入っている・表面のラフネスが大きい・非晶質が混ざっている・相の種類が多過ぎる・格子変形がある・異なる相が似たような構造を持っている・データベースにない分野の相である・固溶体を作っている、などがある。データの質は、good、bad and ugly に分けられ、それぞれの説明があった。Good データとは、回折ピーク強度が 10,000 カウント以上あり、ピークが重なっておらず、回折パターン全体のバックグラウンドが低い、というデータであり、例として牡蠣の炭酸カルシウムが示された。また、Bad case にはポルトランドセメントが、Ugly case には、ローマ時代の硬貨・フェキソフェナジン (医薬品)・デスベンラファキシニコハク酸塩水和物 (医薬品) が例として示され、悪い原因と解決のための実践的な方法が説明された。難しいデータからの相同定には、まだ人の手を必要としていたが、ソフトウェアによる解析の自動化も進んでいることが分かった。

## (2) Two-Dimensional Detectors

2次元検出器のワークショップは、Bob He 氏 (Bruker)、M. Mueller 氏 (DECTRIS)、Scott Speakman 氏 (Panalytical)、Joe Ferrara 氏 (Rigaku) の4名が講師となり、40分ずつ講演が行われた。

Bob He 氏は、Innovations and Recent Development in Two-Dimensional XRD というタイトルで、2次元X線検出器の一般的な説明と、Bruker が開発した VÅNTEC-500 検出器と DECTRIS の EIGER2 R 500K 検出器の紹介を行った。VÅNTEC-500 は、不活性ガスを媒体とした 2次元 MikroGAP™ 検出器であり、比較的容易に大面積化できるという特徴がある。この検出器は直径 140 mm の Be 窓を持っており、3~15 keV の間のエネルギーで使うことができ、8 keV に対

しては 80% の量子効率と、約 20% のエネルギー分解能がある。Bruker は、自社の装置に DECTRIS の PILATUS や EIGER も付けて販売しており、この講演で EIGER2 の紹介も行われた。

M. Mueller 氏は、HPC Detectors in Synchrotron PXRD というタイトルで、世界の放射光施設で使われはじめた EIGER2 検出器を、測定例を示しながら紹介した。

Joe Ferrara 氏からは、RIGAKU が開発しているハイブリッド型光子計数型検出器 Hypix が紹介された。ASIC のアップグレードによってエネルギー分解能が 25% から 15% へと良くなり、その結果、Cu の特性 X 線を使った試料による回折の測定で、バックグラウンドとしてカウントされる試料に含まれる Fe からの蛍光 X 線の強度が下がったというデータが示された。これはノイズが少なくなったということの意味する。ハイブリッド型ピクセル検出器はノイズゼロとされているが、厳密には電気ノイズと入射 X 線の 1 光子が生成する電気信号レベルとを比較した場合に、前者の方が小さいということであり、Threshold によってノイズを切ることができる、という意味である。エネルギー分解能が悪く、シグナルとエネルギーの近いバックグラウンドがある場合には、これを落とすため Threshold のエネルギーをシグナルの半分よりも高く設定する方法が取られる。この場合には検出効率が犠牲となる。

## (3) Characterization of Thin Films

X線回折による薄膜評価に関するワークショップでは、ウィーン工科大学の Klaudia Hradil 氏と Werner Artner 氏が講師となり、測定原理の基礎的なところから、放射光を使った先端的な実験例まで、データ解析の方法も含めて幅広く紹介された。ここでいう薄膜とは 1 nm~数 μm まで幅広い厚さの膜のことであり、実験手法としては、微小角入射 X線回折と X線反射率測定に加えて、集光 X線 (実験室で数 10 μm、放射光で 100 nm 程度) を用いた高空間分解能の逆格子マップ測定も取り上げられた。これらの手法で分かる、応力・歪み、テクスチャー、構造層、膜厚、表面ラフネス、結晶性などが、実験データの例を交えて説明された。

## 3. オーラルセッション

オーラルセッションは、Special Topic、XRD、XRF の3つのカテゴリーからなっていた。構成を以下に示す。

8月8日(水) 午前

- ・Plenary Session: Minerals and Gems

8月8日(水) 午後

- ・New Developments in XRD and XRF Instrumentation I
- ・Microcalorimeter Detectors & Applications
- ・Non-Ambient
- ・Industrial Applications of XRF

8月9日(木) 午前

- ・New Developments in XRD and XRF Instrumentation II
- ・Rietveld
- ・Trace Analysis including TXRF

8月9日(木) 午後

- ・Cultural Heritage
- ・General XRD
- ・Advanced Fundamental Parameters
- ・General XRF

8月10日(金) 午前

- ・Imaging
- ・Advanced Methods
- ・Industrial Applications of XRD
- ・Quantitative Analysis of XRF F

プログラムやアブストラクトはWEBで公開されているので<sup>1)</sup>、興味のある方はそちらも参照いただきたい。これらのセッションの中から、興味深かった発表について幾つか紹介する。

Beatriz Moreno 氏 (Canadian Light Source (CLS)) は、CLS で建設の最終段階にある Brockhouse sector の3本のBLの紹介を行った。1本は真空封止アンジュレータを光源とし、2本は1つの真空封止ウィグラーを低エネルギー (7~22 keV) と高エネルギー (20~95 keV) で分けて使う形のBLである。アンジュレータとウィグラーの光源には光軸に4 mradの角度差しかなく、そのままではBLが設置できないため、ウ

ィグラーからのX線を横振りのミラーによって曲げることでBLの設置を可能としていた。挿入光源は中国の上海から購入し、BLの光学系の設計は Brazilian Synchrotron Light Laboratory の協力を得て行われた、とのことであった。アンジュレータは周期長20 mmで、5~24 keVのエネルギー範囲をカバーしている。基本の分光器が、2枚の水冷マルチレイヤーミラー ( $\Delta E/E \sim 10^{-2}$ 、フラックス:  $10^{13} \sim 10^{14}$  ph/sec) というのが特徴である。オプションとしてチャンネルカットの結晶分光器も用意されている。このBLでは6軸の回折計を使って、単結晶構造解析、薄膜の構造解析、異常散乱、非弾性散乱の測定などが行われるようである。ウィグラーの低エネルギー側のBLは、低分子結晶構造解析、高分解能粉末X線回折、in-situ X線回折測定用に3つの実験ステーションが整備されている。一方、高エネルギー側のBLは、pair distribution function解析のためのX線全散乱測定と高圧極限環境下でのX線回折測定が行われる予定とのことであった。

Chengjun Sun 氏 (Advanced Photon Source (APS), Argonne National Laboratory) は、APSのアップグレード計画APS-Uを視野に入れた小型のX線発光分光器 (miniature X-ray emission spectrometer (miniXES)) のアップグレードについて発表を行った。miniXESは、フラットな結晶を pseudo-von Hamos 配置にすることで、アナライザー結晶をスキップすることなく、ワンショットでスペクトルを取ることができる<sup>2)</sup>。エネルギーの変更は、カセットタイプのアナライザー結晶を交換することで簡単に行えるようになっている。しかし、この装置ではサンプル周りのクリアランスが少ないため、触媒の in-situ 測定や、試料に高圧をかけることなどができなかった。そこで、クリアランスを拡大させると共に、アナライザー結晶の数を増やし、検出器を PILATUS 100K から PILATUS 2M へと大面積化し、更に APS-U と合わせることで、約500倍の効率向上を目指した装置開発の状況が紹介された。アナライザーには  $\phi 80$  mm の Si(531)結晶を63個も使い、マウントの製作には3D printingの技術を使うようであった。これらの開発によって、複数の元素種や吸収端の非共鳴 XES の

時間分解同時測定と、続けて同じ環境での共鳴 XES の in-situ 測定が可能にするとのことであった。実験例として、従来の miniXES タイプのスペクトロメーターで測定した Fe K $\beta$  と Cu K $\beta$  の非共鳴 XES を同時測定し、続けて同じ実験条件のまま Fe K $\beta$  と Cu K $\beta$  の共鳴 XES を測定した結果が示された。

Jiliang Liu 氏 (Brookhaven National Laboratory) は、“Healing X-ray scattering images” というタイトルで、2次元検出器で測定した X 線回折・散乱像の修復に関する講演を行った。2次元検出器に存在する欠陥ピクセルの影響を除去するだけでなく、大面積の検出器を構成するモジュール間のギャップの位置にあたる像を修復するという技術である<sup>9)</sup>。一般的な絵画の修復のような手法ではなく、一定の仮定の下で物理的な原理に基づいて行われていた。欠損のある実空間の回折像をフーリエ変換して逆空間へ持って行き、逆格子の周期性を仮定して、逆格子点の周期性が連続的になるようにコピー&ペーストし、実空間に戻すという手法である。本来は不可能なはずのダイレクトビームストップの後ろの透過強度まで修復している結果もあり、ディスカッションは盛り上がった。欠損のあるデータの解析には、従来の解析ソフトウェアをそのまま使うことはできないが、この方法で修復すればそれが可能になる。対称性を仮定しているため、特異点は復元できないが、小角散乱などのデータであれば、適応可能な例は多そうに思われた。しかし、現時点ではこのような修復がデータの加工にあたるのではないかと、という懸念が残る。

#### 4. 企業展示

近年の実験室系の X 線分析機器の発展には目を見張るものがあった。特に X 線 CT では、voxel サイズ 0.25  $\mu\text{m}$  角の 3 次元像がスイッチ 1 つで得られるようになっていた。マルチパースの測定装置の紹介もあった。ロボットのサンプルチェンジャーを備え、サンプル毎に、粉末回折・単結晶構造解析・小角散乱・反射率測定・蛍光 X 線マッピングなど、異なる測定を自動で行うことが可能となっていることには驚かされた。夜間や週末に人手を必要とせず、装置を休ませることなく、効率的にデータが取得できるようになっ

ている。これらを可能にしているのは、ソフトウェアの力が大きい。ソフトウェアの面では、市販の装置に学ぶことが多いと感じた。放射光施設の中にいると、実験室系の X 線分析装置を使う機会が少ないため、大変勉強になった。

#### 5. おわりに

ウェストミンスターは西にロッキー山脈を望み、北西にはスポーツ選手が高地トレーニングに訪れることで有名なボルダーがある。ボルダーまで行かなくても、この辺りは標高が 1,600 m 以上ある。そのため、デンバーは mile height city とも呼ばれている。会場となったホテルの近くには、トレイルランニングコースなどが整備されており、歩いたり、ジョギングしたり、自転車で走ったりしている人達が見受けられた。

次回の第 68 回デンバー X 線会議は、2019 年 8 月 5~9 日の 5 日間、シカゴ (The Westin Lombard Yorktown Center, Lombard) で開催される。

#### 参考文献

- [1] <http://www.dxcicdd.com/18/program.htm>
- [2] B. A. Mattem, G. T. Seidler, M. Haave, J. I. Pacold, R. A. Gordon *et al.*: *Rev. Sci. Instrum.* **83** (2012) 023901.
- [3] J. Liu, J. Lhermitte, Y. Tian, Z. Zhang, D. Yu *et al.*: *IUCrJ* **4** (2017) 455-465.

今井 康彦 *IMAI Yasuhiko*

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

# International Conference on X-Ray Microscopy (XRM2018) 会議報告

公益財団法人高輝度光科学研究センター  
利用研究促進部門 上杉 健太郎

## 1. はじめに

今回で 14 回目の開催となる X 線顕微鏡国際会議 International Conference on X-Ray Microscopy (XRM2018) が、カナダ・サスカトゥーン市で開催された。XRM は 1983 年にドイツ・ゲッチンゲンで最初に開催された。以降 1987 年から 2008 年までは 3 年ごとに、それ以降は 2 年ごとの開催となっている。会議場は TCU place という街中にある会議場で、コンパクトながら設備は整っていた (図 1、2)。

会議は 8 月 19 日～24 日の開催であった。日本では酷暑の期間であるが、現地のこの時期の平均気温はおよそ 20℃ と極めて快適な気温である。参加者数はおよそ 300 名程度で、口頭発表は 80 件ほど、ポスター発表は 200 件ほどであった。これにプラスして、若手のポスター発表者には発表内容の紹介をするための Flash talk の時間が設けられた。また、発表内訳はおおよそであるが、次のようであった (Prof. Chris Jacobsen 調べ)。

New Instruments and techniques: 32%

Coherent Imaging: 20%

Biology: 12%

Spectro-microscopy: 10%

Source, optics, and detectors: 9%

In-situ, operand and time-resolved: 8%

Materials science: 5%

Environmental and earth science: 4%

新規開発に関する発表が 30%程度あるのは従来どおりであるが、Coherent Imaging が全体の 1/5 となったことは特筆すべきであろう。

会期の最終日 (24 日) 午後には Canadian Light Source (CLS) の見学があった。10 名ほどのグルー

プに分かれて、ビームラインを 3 本程度見学した。1 本あたりの見学時間はおよそ 10 分程度に区切られ、子細に話を聞きたい人には物足りなかったであろう。ちなみに CLS は入射器の不調により、2018 年 12 月までのマシンタイムがすべてキャンセルとなっている<sup>[1]</sup>。

また、今回からアブスト集を無くして、Proceeding に一本化。事前提出および審査を経て、会期直前にオープンになるというシステムになった。今回の分は、*Microscopy and Microanalysis* 誌の Volume 24 - Supplement S2 に掲載されている<sup>[2]</sup>。



図 1 TCU place 外観。サスカトゥーンの繁華街に近い場所にある。



図 2 会場内。パーティー会場かと思わせるような椅子とテーブルであった。

## 2. 会議報告

ここでは筆者の興味を引いたいくつかの研究発表を紹介する。パラレルセッションもあったため、すべての発表を聞いてはいないことをお断りしておく。

Benedikt Rösnerらは、軟X線領域において10 nm以下の空間分解能を達成するための、Fresnel Zone Plate (FZP) の製作方法の提案を行い、性能評価を行った。FZPの最外線幅は8.8 nmであるが、750 eVにおける7 nm線幅のパターンのvisibilityは0.31%だった。これをもって著者らは「空間分解能7 nm」と言っていたが、そもそも線幅が7 nmなのであって、本来は空間分解能は14 nmとするべきであろう。最近、意図的かどうかは分からないが、このように線幅と空間分解能が混同されているケースが目立つ。Manuel Langer (PSI, SLS) らは、軟X線領域でのptychographyの開発を行った。光学系はFZPを用いた標準的といってもいいものである。空間分解能は25 nm程度で、磁気イメージングやFe L吸収端近傍でのスペクトル測定も行っている。3D計測までは進んでいないが、2022年のSLSアップグレードの際に専用のエンドステーションを作る計画があるらしい。ここで用いられた検出器はMoenchというもので現状では1 cm × 1 cmの有効面積であるが、800 eVまでフォトンカウンティング計測が可能なのである。kHz程度のフレームレートが出るとのことである。Hanfei Yan (NSLS-II) は、NSLS-IIの硬X線ナノプローブの現状に関する講演を行った。集光素子としてはFZPとMultilayer Laue Lens (MLL)を用いており、12 keV以下はFZP、それ以上はMLLと使い分けているようである。FZPのビームサイズは50 nm程度であるのに対し、MLLの集光サイズは8 nm程度にもなっている。デモンストレーション的な計測であるが、集光ビームを使って視野1.5 μm<sup>3</sup>のCT計測を行ったデータを示していた。非常に高い空間分解能の画像ではあるが、計測時間が2日ととても長い。やはり集光ビームを用いてCT計測を行うのは不適切であると感じた。Linda Croton (Monash Univ.) は、CT画像におけるS/N向上の手法として屈折コントラスト像からの位相回復を実施するPaganin法が優れていることを示した。さらに、検出器の局所的なMTFを推定する手法を考案し、ある

種のリングアーチファクトを軽減できることを示した。Christian Schroer (DESY) らは、補償光学系を導入した屈折レンズ(ベリリウム製)により、200 nm程度の集光ビームを生成した。使用エネルギーは8-10 keV程度である。焦点距離は200 mm程度と、ワークスペースが確保しやすい状況にある。ちょっと変わった内容として、Juergen Thieme (NSLS-II) らは、NASAの計画であるMARS2020のリターンサンプルの分析手順に関する講演を行った。シリンダ状の試料容器のままCT計測や回折データの取得を行い、その後開封し詳細分析を行うことを考えているようであるが、ちょっと無理があるように見受けられる。火星試料はおそらく大量に持ち帰られるので、大気非暴露に注意しつつ迅速に分類・分析を進めたほうが良いだろう。

前述のとおり、XRMでもアプリケーションの話題が40%程度もしくはそれ以上を占める。多くの発表は、その場観察や複合計測を意識しており、実際そのような計測事例が多い。当然空間分解能としてナノオーダーはごく一般的となってきた。今後しばらくはこの傾向が続くと思われる。

各種のX線顕微鏡システムが性能をあげ、時間・空間分解能が上がっている。必然的にデータ量は増加の一途をたどっており、これにどう対処していくのかこの施設も頭を悩ませている。定型が決まった解析は簡単にスクリプトを組んで、どんどん流していけば済むが、解析方法が定まらない場合は、トライ&エラーを大量のデータに関して実施しなければならない。こういう場合は、何らかの指針を与えられるようなシステムの開発が望まれる。次回ではそのようなデータ解析方法に関するワークショップを開こうという意見も見られた。

## 3. おわりに

今回のWerner Meyer-Ilse Memorial Awardは、Dr. Claire Donnelly(PSI, ETH)とDr. Marie-Christine Zdora (Univ. Coll. London, DLS)に決定した。それぞれの講演タイトルは、“Hard X-Ray Magnetic Tomography: A New Technique For The Visualization of Three-Dimensional Magnetic Structure”および“Advanced X-Ray Phase-Contrast



and Dark-Field Imaging with The Unified Modulated Pattern Analysis (UMPA) ”であった。名前からも分かるようにどちらも女性である。最近数回をみても、この会議は女性参加者が多く、非常に良い研究をしているように見受けられる。

XRM とは話がずれるが、CLS 見学の際に気づいたのが 3D プリンタの利用がずいぶん進んでいる事である。CLS では試料ホルダーや検出器用のちょっとした治具などを 3D プリンタで製作している。これらの部品は小さな変更が頻繁に行われるが、それほど大量生産するわけでもない。3D プリンタで気軽に製作し、更新していくことが有効な種類のものである。ナノオーダーの安定性や非常に高い耐放射線性を要求するような箇所でなければ、ABS 樹脂のパーツでも十分機能すると考えられる。これは SPring-8 においても今後進めるべきことの一つのように思われた。

次回の XRM は 2020 年に台湾で開催される。実施時期は未定のようなのである。また、会期中の投票の結果 2022 年の開催は Sweden の Lund と決定した。

XRM2018 が始まる直前の 8 月 14 日に Prof. Günter Schmahl が亡くなった。X 線顕微鏡における偉大な先人であり、XRM を始めた人でもある。もう少しこの業界の発展を見守って頂きたかったが、大変残念である。

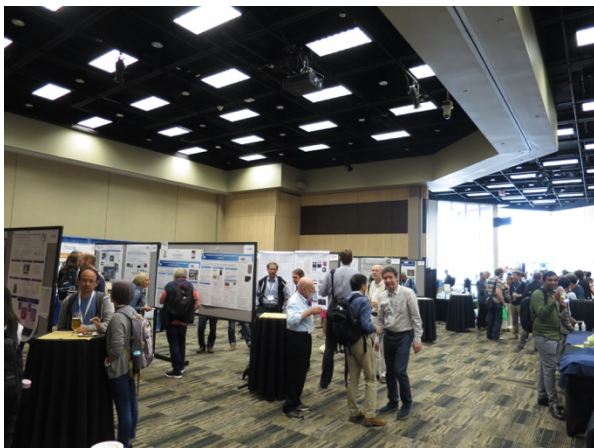


図3 会場内。ポスター会場の様子。企業展示ブースもすぐ近くに配置されている。

#### 参考文献

- [ 1 ] [http://www.lightsource.ca/operations\\_schedule.html](http://www.lightsource.ca/operations_schedule.html)
- [ 2 ] *Microscopy and Microanalysis*, **24** (S2).

上杉 健太郎 UESUGI Kentaro

(公財) 高輝度光科学研究センター 利用研究促進部門  
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1  
TEL : 0791-58-0833  
e-mail : ueken@spring8.or.jp

## 第 34 回欧州表面科学会議 (ECOSS34) 報告

公益財団法人高輝度光科学研究センター  
 利用研究促進部門 室 隆桂之

第 34 回欧州表面科学会議 (The 34th European Conference on Surface Science) が、2018 年 8 月 27 日から 8 月 31 日の 5 日間にわたってデンマークの Aarhus で開催された。会場は、Aarhus の中心部に位置するスカンジナビアンコンGRESSセンター (Scandinavian Congress Centre) であった。筆者は今回が初めての ECOSS への参加であったが、オランダのアムステルダムで第 1 回会議が開催されたのが 1978 年であり、表面物理・化学の基礎から応用に至る分野を俯瞰的に議論する伝統ある会議とのことである。そのような会議の特色を反映してか、今回の会議でもセッショントピックス数は 15 に及び、常時 5 つのセッションが並行して進められるマルチトラックセッションの形態であった。ただし、基調講演に関しては各開催日の開始時間から全員が参加する形で行われた。全体で 6 件の基調講演と 27 件の招待講演、271 件の一般講演、および 129 件のポスター講演が行われた。最終日は 2 件の基調講演と各賞の授賞式のみという構成であった。

初日のオープニングセレモニーにおいて、この 10 年余りの間に特に盛んになった研究として二次元物質とダイナミクス観測が挙げられていたが、それを反映するように、“2D materials”と“Ultrafast dynamics and



図 1 マルチトラックセッションの様子

electronic structure”のセッションが設けられていた。特に、“2D materials”の講演件数 (招待講演を含む) は 45 件であり、“Oxide surfaces and thin films”と並んで本会議で最多であった。現在の表面科学のトレンドを反映しているものと思われる。初日の Ulrike Diebold (TU Wien) の基調講演によると、酸化物の研究もまた過去 10 年で盛んになり、ECOSS で一つのセッションに成長したとのことであった。“Ultrafast dynamics and electronic structure”の講演件数は 14 件と特別に多いというわけではなかったが、電子状態研究のセッション名に“ultrafast”の文字が冠せられているのは、時分割計測が欧州で特に盛んであることを物語っているように感じられた。

筆者は今回、自身が SPring-8 の BL25SU で開発した阻止電場型光電子分析器<sup>1)</sup>の紹介を目的に、“Novel advancements in theoretical and experimental methods”のセッションに参加したのだが、筆者自身は表面研究の経験がほとんどなく、また前述のように ECOSS への参加も初めてであったため、いささか自身の興味に偏った報告となることをご容赦いただきたい。以下、いくつかの講演について紹介する。

会議のオープニングの基調講演を行った前述の Ulrike Diebold は、酸化物表面を 25 年にわたって研究しているとのことであったが、過去 10 年は基礎表面科学をエネルギー関連の応用に結び付ける取り組みであったという導入からスタートした。酸化物表面の走査型トンネル顕微鏡 (scanning tunneling microscopy: STM) による観察では伝導性の問題が生じる。そこで、超高真空 (UHV) 環境下での酸化物表面の原子分解能観察を可能にするために開発した非接触原子間力顕微鏡 (noncontact atomic force microscopy: nc-AFM) を紹介し、STM では empty states として観測される領域が nc-AFM では観測可能であるという例を示した。表面科学の会議というこ

ともあり後述の講演紹介も含めて全体を通じて走査型プローブ顕微鏡による研究講演が多く、装置開発のためゆみなき努力が続けられていることを実感した。

会議初日の“Ultrafast dynamics and electronic structure”のセッションで招待講演を行った Ralph Ernstorfer (Max-Planck-Gesellschaft) は、電子と格子との相互作用を観測するために、時分割角度分解光電子分光 (time- and angle-resolved photoelectron spectroscopy: tr-ARPES) とフェムト秒電子線回折 (femtosecond electron diffraction: FED) を相補的に用いて行った MoS<sub>2</sub> の研究を紹介した。Tr-ARPES では、500 kHz でパルス幅が 22 fs のレーザー光を用い、非占有状態に励起された電子を数 10 fs の時間間隔で観測した結果を示した。将来の展望は excited state microscopy に結び付けるとのことであった<sup>2)</sup>。Cheng-Tien Chiang (Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg) は、同じくパルスレーザーを用いた double photoemission (DPE) の手法を紹介した。2 台の飛行時間 (time of flight: TOF) 型電子エネルギー分析器を用いてコインシデンス測定を行うものである。DPE が電子相関に起因するという特徴を利用し、Cu および Ag に対して電子相関の強さを評価した結果を示した。電子相関の強さは、single photoemission に対する DPE の強度で評価することである。Jan Gerrit Horstmann (University of Göttingen) は、彼らが開発した超高速低速電子線回折 (ultrafast low-energy electron diffraction: ULEED) を紹介した。電子銃のチップへのレーザーパルス照射によって放出された電子パルスを用い、1 ps の時間分解能を達成したとのことである。特別に開発したという直径が数 10 μm の電子銃には驚かされた。適用例として、1T-TaS<sub>2</sub> の電荷密度波 (charge density wave: CDW) 状態への相転移や、Si(111) 上の In ワイヤーにおける構造相転移の測定結果が示された。なお、Horstmann はこの講演により、会議最終日に ECOSS 賞を受賞した。

会議 2 日目の基調講演の Anders Nilsson (Stockholm University) は、触媒反応における中間状態の観測の重要性を説き、SLAC 国立加速器研究所の LCLS および Elettra Sincrotrone Trieste の FERMI において自由電子レーザーを用いて進めている時分

割の X 線吸収分光 (X-ray absorption spectroscopy: XAS) および X 線発光分光 (X-ray emission spectroscopy: XES) による研究を紹介した。400 nm のレーザーをポンプ光とするポンププローブ法により、200~300 fs の時間分解能でのワンショット測定が実現しているとのことであった。Ru(001) 単結晶上での CO 酸化反応の研究を例として示し、中間状態の観測に初めて成功したことを強調した。

“Novel advancements in theoretical and experimental methods”のセッションでは、Eli Rotenberg (Advanced Light Source: ALS) が、ALS のビームラインである MAESTRO (the Microscopic And Electronic STRucture Observatory) に関する招待講演を行った。10 μm の光スポットによる microARPES に加えて nanoARPES を開発し、現在のところ 100 nm 程度の空間分解能での測定が実現しているとのことであった。また、エアロックから各測定装置まで試料を自動で搬送する装置を開発したとのこと、その様子を撮影した動画が紹介された。同じく本ビームラインに設置されている PEEM 装置も含め、将来的にはビームラインの全ての装置間で試料を大気暴露することなく搬送できるシステムにするとのことである。nanoARPES 装置の開発もさることながら、この搬送システムの構築にも膨大な時間と労力が注がれているものと推察され、同じく共同利用装置を担当する者として感服する思いであった。Alfred J. Weymouth (University of Regensburg) は、lateral force microscopy (LFM) に関する招待講演を行った。通常の AFM ではチップを試料表面に対して垂直に振動させるが、LFM では表面に平行な方向に振動させることにより短距離力の原子間力への感度を高める。その適用例として、Si(100) の水素終端面におけるドメイン境界を用いて 1 原子レベルでの摩擦を検出したという研究が紹介された。また、チップの先端に CO の 1 分子を吸着させ、さらに試料表面にも CO 分子を吸着させた状態で LFM を行い、CO のねじれバネ係数を決定した結果が示された。

3 日目の基調講演は、Roman Fasel (Empa, Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology) によるグラフェンナノリボン (GNR) の生成とその物性に関する講演であったが、今後数十

年の目標は UHV 環境での基礎研究をクリーンルームでのデバイス作成に変えていくことであるとの導入からスタートした。グラフェンは高い移動度を持つが、バンドギャップを持たないためそのままではデバイスに応用できない。GNR の場合、リボンの幅でバンドギャップが制御できるため、デバイス応用が期待できる。講演では GNR のボトムアップ方式による生成法や、電界効果トランジスタ (FET) にする際に必要となる絶縁体基板への転写の方法、GNR で作成した FET の性能などが示された。GNR の成長プロセスは UHV 環境下において全てコンピューター制御で行われているとのことであった。筆者も過去にグラフェン関係の研究プロジェクトに参加した経験があるが、現在もデバイス応用に向けた努力が続けられていることを実感した。

“Organic molecules and molecular architectures on surfaces”のセッションでは、Leonhard Grill (University of Graz) の招待講演において、STM によるポリマーの伝導性測定が紹介された。基板上でボトムアップ方式により分子をポリマー化したのち、STM の探針でポリマーの片側の端をピックアップして持ち上げ、もう一方の端が基板表面に接している状態で電圧を印可し、電流を測定するという手法である。例として、グラフェンナノリボンのエッジに周期的に欠陥がある試料を測定すると、探針を持ち上げる高さに依存して電流が階段状に変化するという結果が示された。筆者はこのような手法があることに驚かされたのであるが、本会議中に他の講演者も同様の測定を示していたことから、多用されつつある手法なのかもしれない。

会議最終日の基調講演では、Jinfeng Jia (Shanghai Jiao Tong University) が、分子線エピタキシー (molecular beam epitaxy: MBE) を用いて作成した様々な物質に関する研究を紹介した。Jia は、STM や ARPES といった手法を in situ で行うことの重要性を強調した。例えば、スタネン (スズの二次元物質) の研究では、彼らは in situ で STM 観察を行った後に ARPES を測定し、その結果を理論計算と比較していたが、STM で構造を確認しているので理論計算との比較が可能なのとのことであった。筆者も自身が担当する装置で表面研究を推進しようとしているのだ

が、このような in situ での試料作製の必要性を認識することができた。

さて、ECOSS という会議であるが、前述のように一般公演数が 271 件に対してポスター講演数が 129 件と口頭発表に比重がおかれている。つまり、講演申込が口頭発表として受理される可能性が比較的高い会議と期待され、海外での口頭発表の経験を積みたいとお考えの学生・若手研究者の皆様にはお勧めの会議ではないかと感じた (筆者も今回、口頭発表として受理していただいた)。次回の会議 (ECOSS35) は、2020 年の 8 月 23 日から 28 日にルクセンブルグ大学で開催されるとのことである。「グラフェンの発表は 2004 年であったが、ルクセンブルグ大学はその前年の 2003 年に設立された新しい大学」という紹介が印象的であった。

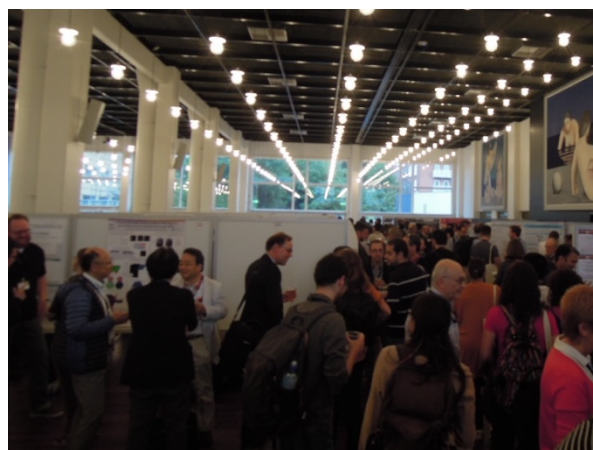


図2 ポスター会場の様子

#### 参考文献

- [1] T. Muro, T. Ohkochi, Y. Kato, Y. Izumi, S. Fukami, H. Fujiwara and T. Matsushita: *Rev. Sci. Instrum.* **88** (2017) 123106.
- [2] P. Puschnig, S. Berkebile, A. J. Fleming, G. Koller, K. Emtsev, T. Seyller, J. D. Riley, C. Ambrosch-Draxl, F. P. Netzer and M. G. Ramsey: *Science* **326** (2009) 702-706.

室 隆桂之 *MURO Takayuki*

(公財) 高輝度光科学研究センター 利用研究促進部門  
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1  
TEL : 0791-58-0802 ext 3869  
e-mail : muro@spring8.or.jp

## SPring-8 シンポジウム 2018 報告

SPring-8 ユーザー協同体 (SPRUC) 行事幹事  
 兵庫県立大学 大学院物質理学研究科 田中 義人  
 広島大学 大学院理学研究科 木村 昭夫

## はじめに

去る 8 月 25 日、26 日の 2 日間にわたり、姫路市市民会館において SPring-8 シンポジウム 2018 が、SPring-8 ユーザー協同体 (以下、SPRUC)、高輝度光科学研究センター (以下、JASRI)、理化学研究所 (以下、理研)、兵庫県立大学の四者の主催により開催されました。第 7 回目となった本年のシンポジウムは、「動き出した「将来への取り組み」」と題し、SPring-8 の現状の課題を解決して将来に向けた取り組みを加速するための具体的な動きを示していくことをテーマとして、産官学の基礎科学から産業応用までの幅広い分野の視点からの討論の場となりました。340 名を超える参加者があり、メイン会場となった大ホール (写真 1) では大変活発な議論が繰り広げられました。

## セッション I オープニングセッション

オープニングセッションでは、水木純一郎 SPRUC 会長 (写真 2) より開会の挨拶がありました。東北の 3 GeV 放射光計画が動き出し、SPring-8 でも大きな動きが出てくるはずであり、本シンポジウムで活発な議論を期待したい旨を述べられました。

続いて理研の小寺秀俊理事 (写真 3) からは、SPring-8 は昨年度に供用開始から 20 年となり、SACLA は 6 年前から供用開始し、国内外から多くのユーザーが利用している現状を踏まえ、今後も安定かつ高性能なビームを供給できるよう施設の運用に務めたいとのこと、また、施設も 20 年を過ぎると老朽化が顕在化してくるためその対応が重要となってくること、理研・JASRI・SPRUC 三者が連携し、高度化を念頭に将来



写真 1 メイン会場 (大ホール)



写真 2 SPRUC 水木純一郎会長



写真 3 理研 小寺秀俊理事



写真 4 JASRI 土肥義治理事長

の課題解決に取り組んでいきたいとの趣旨のご挨拶をいただきました。

次に、JASRIの土肥義治理事長(写真4)より、「登録施設利用促進機関として SPring-8 ユーザーの研究成果の最大化に向けて活動している。新しい研究分野のアクティブな研究者に使ってもらうことも大切であり、成果の拡大とともに利用者の拡大も積極的に進めている。学術利用・産業利用に続く第三の柱として社会・文化の利用が広がってくることを期待している。」との趣旨のご挨拶をいただきました。

次に挨拶に立たれた兵庫県立大学の太田勲学長(写真5)は、今回のシンポジウムは SPring-8 の地元での開催であること、1984年に西播磨テクノポリス計画が国によって承認されたこと、関西6 GeV SR計画の誘致活動、1989年6月に大型SRの設置が決まったことなど、兵庫県と旧姫路工業大学の視点から SPring-8 建設の歴史を俯瞰されるとともに、ニュースバルを含めた兵庫県立大学の放射光利用の取り組みを紹介されました。

次に来賓としてお越しいただいた文部科学省 科学技術・学術政策局 量子研究推進室の西山崇志室長(写真6)にご挨拶をいただきました。SPring-8は供用開始以降、産学官の幅広い研究開発に必要不可欠な大型研究基盤施設として最先端の研究開発成果を創出し続け、国際的に確固たる地位を確立していること、SPring-8に対する期待に応えるために次の20年を見据えた検討を進めるべき時期に来ていることなどについて述べられました。さらに、SPRUCに期待することとして、新規利用の開拓、新たな産学連携の枠組みの検討、次世代放射光施設を含めた我が国の放射光施設全体における SPring-8 の位置づけ・役割分担などについて具体的な議論を進めることを挙げられました。

最後に、Welcome Talkとして兵庫県立大学の山崎徹副学長(写真7)が、「兵庫県立大学の放射光利用研究の現状と将来」と題してご講演されました。兵庫県立大学が SPring-8 とともに歩んできた20年のレビューと、今後の展望についてスライドを使いながらお話されました。兵庫県立大学の前身である姫路工業大学理学部が1990年に新設されたのは SPring-8 の誘致に呼応したものであったこと、2004年に兵庫県立

大学が開学し、2007年にはピコバイオロジー研究所が発足、SACLAが発振したころの2011年からはリーディングプログラム、2012年に多重極限物質科学研究センターなどが立ち上がるなど、放射光利用研究を推し進めてきたこと、2019年度には5年一貫大学院コースを設置し、放射光特有のコースにより大学院教育の強化を図ることなどを説明されました。



写真5 兵庫県立大学 太田勲学長



写真6 文部科学省 科学技術・学術政策局  
量子研究推進室 西山崇志室長



写真7 兵庫県立大学 山崎徹副学長

## セッションII SPring-8 この1年

セッションIIでは、「SPring-8 この1年」と題して、ユーザー、理研、JASRI を代表して、水木純一郎 SPRUC 会長、石川哲也理研放射光科学研究センター長、櫻井吉晴 JASRI 利用研究促進部門長による講演が行われました。

水木会長（写真8）からは、「SPRUC がやるべきことと施設への期待」と題した講演が行われました。最初に、SPRUC に期待されることとして「SPring-8 を利用して世界に誇る成果を輩出し、人類社会の発展に



写真8 SPRUC 水木純一郎会長



写真9 理研 石川哲也放射光科学研究センター長



写真10 JASRI 櫻井吉晴利用研究促進部門長

貢献すること」が示されたのち、SPring-8 を取り巻く現状と、SPRUC がこれまでに行ってきた活動を紹介されました。さらに、これらの活動を発展させることを目指した SPRUC の活動計画が示され、合わせて、施設への期待とそれを実行するための仕組み作りが提案されました。

石川センター長（写真9）からは、「利用者の動向と施設の対応」と題した講演が行われました。SPring-8 の予算および成果などに関する現状報告が行われた後、国内外の放射光施設の動向と、それに対応した SPring-8 次期計画が紹介されました。特に、放射光の有用性はますます認識されてきており、初心者ユーザーや産業界ユーザーを始め、潜在的ユーザーは増大しており、放射光パワーユーザーとデータが欲しいだけのユーザーの二極化が進むであろう、これらに対応するためには、AI やロボティクスの導入が必須となり、また、ビームラインの再定義も含めたスクラップ・アンド・ビルドが必要であるとの認識が示されました。また、放射光関連技術の進歩に伴うビッグデータへの対応の必要性が示されました。

櫻井部門長（写真10）からは、「ビームラインポートフォリオと先端ビームライン提供の展望」と題した講演が行われました。海外の施設との詳細な比較を行いながら、共用 BL の現状分析が示され、「汎用ビームライン」、「先端開発ビームライン」、「挑戦的ビームライン」といったビームラインの再定義が必要であるとの提案がなされました。

いずれの講演も SPring-8 が運転開始後 20 年を経過し、新しいフェーズに入るためには、大きな改革が必要であることが強調され、今後もユーザー、理研、JASRI が連携をとって議論を進めていくことの重要性が改めて示されました。

## セッションIII SPring-8 を取り巻く環境と進むべき道

セッション III では雨宮慶幸氏（東京大学）を座長として、JASRI の矢橋牧名氏と東京大学・SPRUC 利用委員長の有馬孝尚氏の口頭発表が行われました。

矢橋氏（写真11）は、「ユニークな基幹技術による世界との差別化」という題目で講演されました。世界各国でマルチバンドアクロマット (MBA) の技術の進展によって、放射光源の高輝度化・低エミッタンス化

が進行していて、ESRF では 2019 年に、APS では 2023 年に MBA リングへのアップグレードが、中国 @北京郊外では 6 GeV 新光源の建設が 2025 年に予定されていること。FEL での measure-before-destruction に対して、MBA 光源では measure-during-change というコンセプトで実験がデザインされていること。光学系技術に関しては、阪大で開発されたナノ集光 KB ミラーが、コマ収差をなくした Advanced KB (AKB) ミラーへと発展していること。分光器に関しては、rock stable なモノクロメータとして、二結晶分光器 (DCM: double crystal monochromator) の流れに、従来のチャンネルカット分光器 (CCM: channel-cut monochromator) が反射面の仕上げの技術の進展でリバイバルを迎えていること。2次元 X線検出器に関しては、SACLA 向け MPCCD に続き、画素サイズ 70  $\mu\text{m}$ 、17 kfps という高速フレームレートで動作する積分型検出器 CITIUS の開発が進められていることが示されました。今後、モデルとなるパイロット BL の構築を含めて、これらの技術を旨く組み合わせた、世界で最も競争力のある BL を実現していく必要がある、と締めくくられました。



写真 11 矢橋牧名氏 (JASRI)



写真 12 有馬孝尚氏 (SPRUC 利用委員長)

有馬氏 (写真 12) は、SPRUC 利用委員会の委員長の立場から、「新しい利活用研究を拓く研究会」という題目で講演されました。理研、JASRI、SPRUC の各組織の役割と立ち位置を踏まえた上で、SPRUC で行っている分野融合研究会の取り組みが紹介されました。また、1) Hardware、2) Big data、3) Method development、4) Human resource、5) Organization、6) Proposal selection という視点で、bottom-up と top-down の双方向の流れを円滑にして、成果の最大化に向けて、今後のあり方を考察して行く必要があること、また、XFEL、高輝度 3 GeV 放射光、他の量子ビーム施設 (中性子、ミュオン)、他の装置群 (電子顕微鏡、STM、AFM、NMR) などとのシナジー効果を目指すことの必要性を述べられました。

#### セッション IV パネルディスカッション

パネルディスカッション (写真 13、14) では、SPring-8 に関わる 3 組織から石川哲也氏 (施設・理研)、櫻井吉晴氏 (登録機関・JASRI)、水木純一郎氏 (ユーザー組織 SPRUC・関西学院大学) をパネリストとして招き、会場の参加者とともに熱い議論を交わしました。冒頭、モデレータの藤原明比古氏 (関西学院大学) が、昨年のシンポジウムでのパネルディスカッションの概要、および、近年の SPring-8 および SPRUC を取り巻く状況を整理した上で、「次期計画を見据え、連続的延長ではない SPring-8 の発展のための must を共有し、それに向けた議論開始の意思統一を図る」を目的として明示し、議論を開始しました。論点は、「先端性維持から次期計画に繋げる高度化」から 3 つと、「先端研究を生み続ける組織」から 2 つの合計 5 つのトピックスとしましたが、次期計画に向けたビームライン (BL) の再定義の話題だけでも議論は尽きませんでした。BL 統廃合のあり方や共用 BL・理研 BL・専用 BL のカテゴリ分け、BL の評価などに関して、施設、運営、利用者の立場から様々な意見とともに議論が交わされました。また、軟 X 線向け高輝度 3 GeV 級放射光源計画が動き出したこともあり、SPring-8 次期計画において、BL がカバーすべきスペックの議論の必要性も確認されました。熱い議論は時間内に収まらなかったため、懇親会へと議論の場を移しました。





写真 13 左からモデレータ（藤原明比古氏（関西学院大学））と3機関のパネリスト（櫻井吉晴氏（JASRI）、石川哲也氏（理研）、水木純一郎氏（SPRUC））



写真 14 熱い議論が交わされたパネルディスカッションの様子

### 懇親会

パネルディスカッションの熱気の冷めやらぬまま、130名を超える参加者が姫路商工会議所の1階にある展示室に移動し、「懇親会」および「ポスターセッション@姫路商工会議所」が開催されました。今回は、ホテル宴会場と学会形式の融合したレイアウトが採用された会場となりました。懇親会は水木純一郎 SPRUC 会長の開会の辞で始まり、理研放射光科学研究センターの石川哲也センター長より挨拶がありました。その後、本シンポジウムの共同主催である兵庫県立大学の太田勲学長より乾杯の挨拶がありました。また、2日目に受賞講演を控えた SPRUC 2018 Young Scientist Award 受賞者お二人からのスピーチがあり

ました。懇親会場には、施設および共用 BL に関する 12 枚のポスターが会場全体を取り囲むように展示されており、それらの説明およびセッションが案内されました。さらに、今回の懇親会では、「動き出した余興への取り組み」と題して、S-pring-8 界隈情報や、S-pring-8 にまつわるクイズや手品が披露されました。また、次回開催地に関する検討状況が示され、岡山大学が候補である旨発表されました。最後は、笹島靖実行委員長の閉会の辞で締めくくられました。激論が繰り広げられたメイン会場でのパネルディスカッションに引き続き、具体的な将来への取り組みについて参加者の間で熱く意見が交わされ、大いに盛り上がった懇親会となりました（写真 15）。



写真 15 懇親会の様子

#### セッション V SPRUC 総会・YSA 受賞講演、授賞式

シンポジウム2日目の最初は、SPRUC総会が行われました。総会では、行事、予算、研究会での活動状況と評議員会での議題についての報告の後、SACLA-UCとの連携強化、規程改定に関わる審議が行われ承認されました。これにより、会長候補者が評議員である制限の撤廃、会長の諮問機関となる顧問会議の設置、SACLAをSPRUCの活動対象にすることが決まりました。続いて、SPRUC 2018 Young Scientist Award授賞式が行われました(写真16)。冒頭、雨宮慶幸選考委員長より、11名の応募があり、物質系(非生物系)6名と生物系5名からそれぞれ1名、計2名を受賞者としたこととそれぞれの受賞理由の紹介が行われました。今回も高いレベルの競争となり、多岐におよぶ研究分野に対して評価基準を何処に重きを置くかにより結果が異なる激戦となったものの、本賞の特徴である利用法や解析手法の開発、あるいはSPring-8の特徴を活用し測定対象の分野にとってどのくらい顕著な成果をもたらしたかという観点から選考した旨説明がありました。その後、水木会長より、齋藤真器名氏(京都大学)と山下恵太郎氏(東京大学)にそれぞれ賞状と楯が授与されました。授賞式の後、齋藤氏と山下氏による受賞講演が行われました。



写真 16 SPRUC 2018 Young Scientist Award 授賞式。左から雨宮委員長、齋藤氏、山下氏、水木会長。

#### セッション VI 分野融合研究

このセッションでは SPRUC の「分野融合型研究グループ」に関連して、進行中の研究と、今後の分野融合のヒントになりそうな研究に関して、1件ずつ講演がありました。

まず、実用グループのプログラムオフィサーを務められる高尾正敏氏(元パナソニック/大阪大学)(写真17)により、「SPRUC 分野融合研究から放射光活用科学・新分野創成へ」という題目の講演がありました。実用グループとして、固体と液体の界面の解明に、特に、鉄鋼材料や触媒材料に着目して取り組んでいることが報告されました。また、分野の融合というよりは、新しい分野を創成するという観点が重要であることや、そのためにはマネジメント上で工夫が必要となることなどのお話がありました。分野融合研究のための評価体制についても提案がありました。

次に、鷲尾隆氏(大阪大学)(写真18)による、「計測を指向する機械学習手法の開発と応用」という題目の講演がありました。SPring-8などで取得される科学



写真 17 高尾正敏氏



写真 18 鷲尾隆氏(大阪大学)

計測データの解析には、現在流行している機械学習の場合とは異なる手法を用いなくてはならないことが紹介されました。現在、機械学習で広く使われているベイズ推定は、対象となるものの分布が狭いことを前提としているため、対象物が多様な科学計測ではベイズ推定が必ずしも有効でないということです。鷲尾氏は、計測システムの特徴が既知でかつ揺らぎが小さい場合には、最尤推定に基づいた計算手法が適していることを述べました。また、実際に開発している手法の有効性について、においセンサーを例にとった紹介がありました。

#### セッション VII ポスターセッション

ポスターセッションは、2 階大ホール ホワイエおよび展示室において行われました (写真 19)。今年度の発表件数は、SPRUC 研究会 30 件、共用 BL12 件、理研・専用 BL22 件、施設 2 件、パートナーユーザー 8 件、長期利用課題 16 件および新分野創成利用課題 2 件の合計 92 件でした。ポスター番号の偶数奇数別に 1 時間ずつのコアタイムが設定され、活発な議論が行われました。

#### セッション VIII 時間軸でみる SPring-8/SACLA の利用研究

このセッションは、現象の時間依存性を意識した利用研究について、SPring-8 での事例に SACLA での実験も合わせて幅広い時間分解域をカバーする利用研究を紹介するものでした。SPRUC の SACLA-UC との連携強化のパイロット的とも言えるセッションでした。

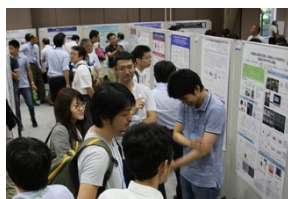
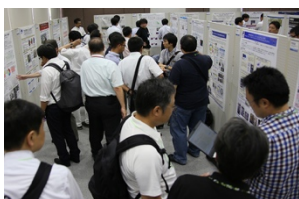
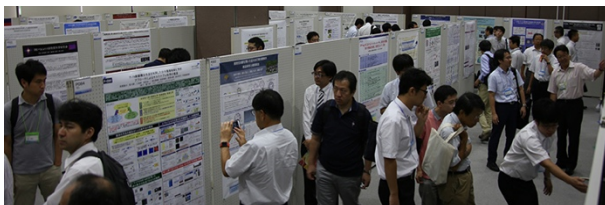


写真 19 ポスターセッションの様子

まず、「X線自由電子レーザー-SACLA を使った超高速サイエンスの開拓」と題して、JASRI の片山哲夫氏 (写真 20) から SACLA の現状報告とフェムト秒ポンプ・プローブ法の紹介がありました。光学レーザーとの組み合わせでのポンプ・プローブ実験では、フェムト秒の時間分解能を得るために、そのパルス光源間のタイミングジッターの問題を克服する必要があり、透過型回折格子を用いたビームブランピング法を開発し、計測と並行してショットごとのタイミングをモニターできることが報告されました。利用研究例として、金属錯体内部での電荷移動ダイナミクス、光触媒のキャリアダイナミクス、金属錯体におけるコヒーレントな分子振動や錯体間の化学結合形成過程に関する研究が紹介されました。

次に、「構造生物学における SACLA 時分割構造解析の展望と課題」と題して、兵庫県立大学の久保稔氏 (写真 21) が講演されました。構造生物学において時分割結晶構造解析をさらに発展させるために取り組むべき課題として、光感受性タンパク質以外の系へ



写真 20 片山哲夫氏 (JASRI)

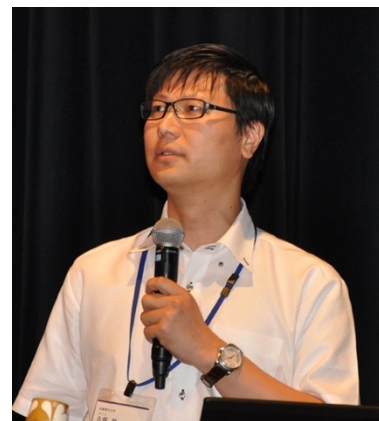


写真 21 久保稔氏 (兵庫県立大学)

の研究展開と、結晶場のダイナミクスへの影響評価が挙げられました。前者については、光活性のケージドリガンドの活用が進められているとのこと。後者については、顕微タイプの時分割紫外・可視・赤外吸収分光法が有用であり、SACLA で得られた時分割結晶構造データと比較・評価することにより、機能と構造の時間変化を関係づけながら実験を進めたことが成功の鍵となった研究例が示されました。

東北大学の雨澤浩史氏 (写真 22) より、「放射光を利用した燃料電池・蓄電池反応の時間追跡」についての講演がありました。資源問題、環境問題に対応するためには、「創エネ」および「蓄エネ」技術の確立が重要な課題となっており、この分野の放射光利用計測として、燃料電池および蓄電池内部の状態の XAFS 測定が紹介されました。特に、全固体リチウムイオン電池のオペランド計測において、位置分解能と時間分解能をもたせて、2D イメージングで時間追跡をした結果が示されました。さらに、約 20 分ごとではあるが 3D



写真 22 雨澤浩史氏 (東北大学)



写真 23 林雄二郎氏 (豊田中央研究所)

イメージングができることや、固体燃料電池において Quick-XAFS や交流電圧印加による計測を適用することで時間分解能サブ秒やミリ秒で XAFS 応答をとらえた結果が示されました。

本セッション最後は、豊田中央研究所の林雄二郎氏 (写真 23) による、「金属材料のための放射光回折顕微鏡法の可能性」と題した講演でした。金属材料の老朽化による重大な事故例が示され、その耐久性の研究は重要なテーマであることが示されました。材料表面だけでなく内部を観察できる高エネルギー X 線領域の放射光を用いた顕微法として、3次元 X 線回折顕微鏡法が紹介され、さらに結晶粒数が多い場合にも適用できる走査型 3次元 X 線回折顕微鏡法の開発に成功し、実用の目途がたったことが報告されました。また、複合屈折レンズを用いた結像型の暗視野 X 線顕微鏡法や、レンズを用いない回折顕微鏡法が紹介され、ビデオレートでの金属材料内部の動的観察への展望が示されました。

#### セッション IX 利用トピックス

最後のセッションでは、磁性、材料科学、半導体、生命科学の分野から最近の利用トピックスの発表がありました。

最初は、東京大学の櫻木俊輔氏 (写真 24) による、「量子とじこめ効果により発現する Pd 薄膜の強磁性」と題した講演でした。X 線反射率測定により磁性・量子井戸状態・構造歪みが相互に関係することにより Pd 超薄膜の磁気状態が決まることが示されました。

2 番目は、東京大学の脇原徹氏 (写真 25) による、「ゼオライトの精密設計を目的とした非周期系原料



写真 24 櫻木俊輔氏 (東京大学)

及び結晶ゼオライトの原子・ナノスケールPDF解析」と題した講演でした。非晶質状態のゼオライト合成材料が結晶化する過程を、高エネルギーX線全散乱測定を用いて原子・ナノスケールの構造を時分割観察した例が示されました。

続いて、東京工業大学の筒井一生氏(写真26)が、「光電子ホログラフィーによる半導体中のドーパント



写真25 脇原徹氏 (東京大学)



写真26 筒井一生氏 (東京工業大学)



写真27 篠原玄氏 (東京慈恵会医科大学)

局所構造解析」の題目で講演し、Si中にあるAsの局所構造解析例を示し、光電子ホログラフィーは不純物局所構造の解明に有用であることが示されました。

最後の講演は、東京慈恵会医科大学の篠原玄氏(写真27)による、「位相差イメージングによる心臓刺激伝導系形態解析—さらなる知見創出と社会貢献に向けて—」の題目での講演でした。小児心臓外科医からなる研究チームで、心臓刺激伝達系を非破壊可視化する位相差X線CT計測とその解析例が示され、今後の発展性と画像処理などの課題が議論されました。

セッション全体を通して、今回の報告は確立された手法を利用する研究スタイルのものが多く、エンドユーザーが増えてきていることが感じられました。

#### セッションX クロージング

クロージングセッションでは、主催機関を代表して城宜嗣兵庫県立大学大学院生命理学研究科長(写真28)より閉会の挨拶がありました。シンポジウム初日は施設運用面の話があり、熱い議論が交わされたことが大変印象的だったこと、一方、2日目はサイエンス、テクノロジー面でのトピックスが披露され、SPRING-8ができて以来この20年間で当初の想像をはるかに超えた驚くべき進歩を遂げていることに感銘したと述べられました。また、全体として次期計画を意識した議論がなされており、今後、施設・管理・利用者が三位一体となって、覚悟をもって取り組んでいくことの重要性に触れられました。最後に、司会の水木会長より、最終的な参加者登録数が345名と多数であったことの報告、および参加者へのお礼の言葉がありました。



写真28 兵庫県立大学大学院生命理学研究科 城宜嗣研究科長

おわりに

SPRUC が発足して7回目のシンポジウムを無事終えることができました。これも多くのユーザーの方々に参加いただき、活発な議論をいただけたことに尽きると思います。また、JASRI 事務局の方々には当シンポジウム全般にわたり多大なご協力をいただきましたこと心より感謝いたします。本報告書をまとめるにあたり、籠島靖兵庫県立大学教授、中川敦史大阪大学教授、雨宮慶幸東京大学教授、藤原明比古関西学院大学教授、有馬孝尚東京大学教授、今井康彦 JASRI チームリーダー、櫻井吉晴 JASRI 利用研究促進部門長の先生方にご協力いただきました。心より感謝申し上げます。

### SPring-8 シンポジウム 2018 プログラム

8月25日(土)

セッションI オープニング <姫路市市民会館 大ホール>

座長: 籠島 靖

(SPring-8 シンポジウム 2018 実行委員長、兵庫県立大学)

13:00-13:05 **開会挨拶**

水木 純一郎 (SPRUC 会長、関西学院大学 教授)

13:05-13:25 **挨拶**

小寺 秀俊 (理化学研究所 理事)  
土肥 義治 (高輝度光科学研究センター 理事長)  
太田 勲 (兵庫県立大学 学長)

13:25-13:30 **来賓挨拶**

西山 崇志 (文部科学省 科学技術・学術政策局 研究開発基盤課 量子研究推進室 室長)

13:30-13:35 **Welcome talk**

兵庫県立大学の放射光利用研究の現状と将来  
山崎 徹 (兵庫県立大学 副学長)

セッションII SPring-8 この1年 <同 大ホール>

座長: 中川 敦史 (SPRUC 前会長・大阪大学)

13:40-13:55 **SPRUC がやるべきことと施設への期待**

水木 純一郎 (SPRUC 会長・関西学院大学)

13:55-14:10 **利用者の動向と施設の対応**

石川 哲也 (理化学研究所)

14:10-14:40 **ビームラインポートフォリオと先端ビームライン提供の展望**

櫻井 吉晴 (高輝度光科学研究センター)

14:40-15:00 **休憩** (コーヒープレイク)

セッションIII SPring-8 を取り巻く環境と進むべき道  
<同 大ホール>

座長: 雨宮 慶幸 (SPRUC 監事・東京大学)

15:00-15:30 **ユニークな基幹技術による世界との差別化**

矢橋 牧名 (高輝度光科学研究センター)

15:30-16:00 **新しい利活用研究を拓く研究会**

有馬 孝尚 (SPRUC 利用委員長・東京大学)

16:00-16:15 **休憩**

セッションIV パネルディスカッション <同 大ホール>

司会 (モデレータ): 藤原 明比古

(SPRUC 庶務幹事、関西学院大学)

16:15-17:30 **パネリスト: 石川 哲也 (理化学研究所)**

櫻井 吉晴

(高輝度光科学研究センター)

水木 純一郎

(SPRUC 会長・関西学院大学)

18:00-19:30 **懇親会** <姫路商工会議所 1 階 展示室>

司会: 田中 義人

(SPring-8 シンポジウム 2018 実行委員、兵庫県立大学)

8月26日(日)

セッションV SPRUC 総会・YSA 受賞講演、授賞式

<姫路市市民会館 大ホール>

司会: 藤原 明比古 (SPRUC 庶務幹事、関西学院大学)

09:00-09:20 **SPRUC 活動報告、2017 年度決算・2018 年度予算報告等**

09:20-09:30 **SPRUC 2018 Young Scientist Award 授賞式**

09:30-09:45 **SPRUC 2018 Young Scientist Award 受賞講演 1**  
**放射光により生成されたガンマ線による原子・分子のダイナミクス測定法の開発とその多様な応用研究**

齋藤 真器名 (京都大学)

09:45-10:00 **SPRUC 2018 Young Scientist Award 受賞講演 2**

**微小結晶タンパク質 X 線結晶構造解析を加速する自動データ処理システムの開発**

山下 恵太郎 (東京大学)

セッションVI 分野融合研究 <同 大ホール>

座長: 有馬 孝尚 (SPRUC 利用委員長・東京大学)

10:00-10:20 **「SPRUC 分野融合研究」から「放射光活用科学・新分野創成」へ**

高尾 正敏 (元パナソニック/大阪大学)

10:20-10:50 **計測を指向する機械学習手法の開発と応用**

鷲尾 隆 (大阪大学)

セッションVII ポスターセッション

<同 2 階 展示室、大ホール ホワイエ>

11:00-13:00 SPRUC 研究会 30 件

共用 BL 12 件

理研・専用 BL 22 件

施設 2 件

パートナーユーザー 8 件

長期利用課題	16件
新分野創成利用	2件
合計	92件
(コアタイム奇数 11:00-12:00、偶数 12:00-13:00)	

木村 昭夫 *KIMURA Akio*

広島大学 大学院理学研究科  
〒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

セッション VIII 時間軸でみる SPring-8/SACLA の利用研究  
<同 大ホール>

座長：田中 義人

(SPring-8 シンポジウム 2018 実行委員、兵庫県立大学)

- 13:10-13:30 **X 線自由電子レーザー-SACLA を使った超高速サイエンスの開拓**  
片山 哲夫 (高輝度光科学研究センター)
- 13:30-13:50 **構造生物学における SACLA 時分割構造解析の展望と課題**  
久保 稔 (兵庫県立大学/理化学研究所)
- 13:50-14:10 **放射光を利用した燃料電池・蓄電池反応の時間追跡**  
雨澤 浩史 (東北大学)
- 14:10-14:30 **金属材料のための放射光回折顕微鏡法の可能性**  
林 雄二郎 (豊田中央研究所)
- 14:30-14:40 **休憩** (コーヒープレイク)

セッション IX 利用トピックス <同 大ホール>

座長：櫻井 吉晴 (高輝度光科学研究センター)

- 14:40-15:00 **量子とじこめ効果により発現する Pd 薄膜の強磁性**  
櫻木 俊輔 (東京大学)
- 15:00-15:20 **ゼオライトの精密設計を目的とした非周期系原料及び結晶ゼオライトの原子・ナノスケール PDF 解析**  
脇原 徹 (東京大学)
- 15:20-15:40 **光電子ホログラフィーによる半導体中のドーパント局所構造解析**  
筒井 一生 (東京工業大学)
- 15:40-16:00 **位相差イメージングによる心臓刺激伝導系形態解析—さらなる知見創出と社会貢献に向けて—**  
篠原 玄 (東京慈恵会医科大学)

セッション X クロージング <同 大ホール>

座長：水木 純一郎 (SPRUC 会長/関西学院大学)

- 16:00-16:10 **閉会挨拶**  
城 宣嗣 (兵庫県立大学 生命理学研究科長)

田中 義人 *TANAKA Yoshihito*

兵庫県立大学 大学院物質理学研究科  
〒678-1297 兵庫県赤穂郡上郡町光都 3-2-1  
TEL : 0791-58-0139  
e-mail : tanaka@sci.u-hyogo.ac.jp

## 第 15 回 SPring-8 産業利用報告会

公益財団法人高輝度光科学研究センター  
産業利用推進室 佐藤 眞直

## 1. はじめに

産業用専用ビームライン建設利用共同体（サンビーム共同体）、兵庫県、(株)豊田中央研究所、(公財)高輝度光科学研究センター（JASRI）、SPring-8 利用推進協議会（推進協）の 5 団体の主催、及び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）、SPRUC 企業利用研究会、光ビームプラットフォーム、(一財)総合科学研究機構中性子科学センター（CROSS 東海）、(一財)高度情報科学技術研究機構（RIST）、茨城県、あいちシンクロトロン光センターの協賛で第 15 回 SPring-8 産業利用報告会が 9 月 6 日、7 日に兵庫県民会館において開催された。総参加者は 240 名であった。

2004 年の初開催から続く本報告会は、主催団体の 4 団体（サンビーム、兵庫県、(株)豊田中央研究所、JASRI）がそれぞれ運用する専用及び共用ビームラインにおける成果の報告会のジョイントとして構成され、その目的は (1) 産業界における放射光の有用性を広報するとともに、(2) SPring-8 の産業利用者の相互交流と情報交換を促進することにある。口頭発表やポスター発表、技術交流会において活発な議論と産業分野を跨いだ交流が行われ、今回も前述の開催目的に沿った、SPring-8 の産業利用の現状を知ることのできる最良の情報発信の機会となった。また、SPring-8 立地自治体の兵庫県が SPring-8 の社会全体における認識と知名度を高める目的で 2003 年度より設置した「ひょうご SPring-8 賞」の第 16 回受賞記念講演が今年も併催された。

## 2. 口頭発表（1 日目）

報告会 1 日目の口頭発表は 9 月 6 日の午後 1 時より会場 9 階のけんみんホールにおいて行われた。最初のセッション 1 の開催挨拶は、主催団体を代表して JASRI の土肥理事長から挨拶があり、SPring-8 の産学両分野における堅調な利用状況と産業イノベー

ションに対する利用成果の貢献を評価されて年間予算を維持できているが、特に産業利用における利用料収入の増加を政府から期待されている状況を踏まえ、今後ますますの産業利用成果をアピールすることによる産業利用のさらなる拡大に対する希望を述べられた。

次のセッション 2 では、「ひょうご SPring-8 受賞記念講演」が行われた。今年度は新日鐵住金ステンレス（株）の秦野氏が、「水素脆化を克服するステンレス鋼の開発に資するナノサイズ結晶相の解析」で受賞された。講演では、水素社会実現に向けたインフラ整備用の構造材料開発における重要な技術課題であるステンレス鋼の水素脆化抑制を目的とした水素脆化発現メカニズムの研究において、脆性破壊の起点となる加工誘起相変態によって生じる  $\epsilon$  相への変態が水素添加によって促進されることを放射光 X 線回折測定により明らかにした研究成果を紹介された。

次のセッション 3 の「第 9 回豊田ビームライン研究発表会」では、豊田ビームライン BL33XU において豊田中央研究所が実施した研究成果 2 件が発表された。

1 件目の野中氏の発表では、「X 線ラマン散乱分光による Li イオン電池黒鉛負極のその場状態解析」というタイトルで、豊田ビームラインにおいて技術検討を行った X 線ラマン散乱分光技術が紹介された。本発表では、通常の XAFS 測定では難しい大気下バルク中の軽元素の X 線吸収端スペクトル測定を可能とする X 線ラマン散乱分光の特徴を説明され、同技術を活用した Li イオン電池の充放電過程における黒鉛電極中の C の状態変化のその場観察の結果が報告された。2 件目の橋本氏の発表では、「放射光イメージングによるナノ流体流動状態のその場観察」というタイトルで、熱輸送に用いられる媒体の新規材料開発において注目されている、液体にナノ粒子を分



散させた固液混相流媒体において報告されている流路壁面への熱伝達効率向上の発現メカニズムについて、放射光を用いた透過 X 線イメージングによって検討した成果が紹介された。その結果から、熱伝達に影響を及ぼしていると考えられる流路壁面近傍におけるナノ粒子密度希薄層の存在を確認したことが報告された。

続くセッション 4「JASRI 共用ビームライン実施課題報告会」では、最初に JASRI 産業利用推進室の廣沢室長から共用ビームラインにおける産業利用分野の現状について報告が行われ、2014 年度から領域指定型の重点研究課題として実施されてきた産業新分野支援課題が 2017 年度で終了したこと、来年 2019 年度から産業利用ユーザーの試験的な実験実施に対する希望に対応するための産業利用準備課題を実施すること、が報告された。この後報告された 6 件の共用ビームラインの利用成果の内、前半 4 件は前述の産業新分野支援課題として実施されたものであった。

まず (株) 日清製粉グループ本社の篠崎氏から、「SPring-8 の X 線 CT による冷凍パスタ組織の形状観察」というタイトルで、冷凍パスタにおいて対策課題となっている冷凍保管中にパスタが白く変色し食感が劣化する「冷凍焼け」の発現メカニズムについて、BL19B2 の X 線 CT 装置を用いた冷凍パスタ内部の凍結組織非破壊観察により検討した研究成果が紹介された。保管中の温度変化に注目して凍結組織の変化の保管環境依存性を検討した結果から、冷凍焼けが凍結組織内で相分離した氷結晶が昇華して空隙が生じることによって起こる事、その昇華の進行が環境温度の変動頻度が大きくなるほど早くなる事が確認された事、が報告された。(株) サヌキフーズの小谷氏からは、「マイクロ X 線 CT による、油調済みパン粉の微細構造のその場観察」というタイトルで、パン粉の材料に裸麦粉を加えることにより油切れの良い (吸油率が低い) パン粉を実現できたことについて、油を添加したパン粉内部組織の油の分布の裸麦粉添加有無による違いを BL46XU の X 線 CT 装置で検討した結果、裸麦粉を添加したパン粉の方が油で満たされていない空孔が多く存在していることが確認されたことを報告された。京都大学の村田氏からは、「X 線 CTR 散乱法による石油増進回収

技術への応用を目的とした油-鉱物二相界面の吸着構造評価」というタイトルで、油田から効率良く石油を回収するための技術として注目されている低塩分濃度水攻法について、地層に塩水を注入した時の鉱物表面の油の吸着状態の変化を BL19B2 の X 線回折計を用いた X 線 CTR 測定で評価した研究成果が報告された。模擬的な鉱物表面として白雲母の劈開面を用い、その表面のカチオンを  $K^+$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $Ca^{2+}$  で置換した面にステアリン酸を吸着させた試料について CTR 測定を行い、その散乱プロファイルの解析から得られた表面吸着層の電子密度分布と MD 計算によるシミュレーション結果を比較検討することによりステアリン酸の吸着状態のカチオン依存性について議論された。古河電気工業 (株) の山崎氏からは、「小角 X 線散乱によるコルソン合金中の析出物の時効処理中における in-situ サイズ変化測定」というタイトルで、電子機器の小型化、高性能化という観点から強度と伝導性の両立が求められている配線材料において注目されているコルソン合金について、その強化機構である析出物の分散状態の熱処理過程における変化を、BL19B2 の小角 X 線散乱装置を用いて行った加熱下 in-situ 小角 X 線散乱測定によって得られた散乱プロファイルの変化から検討した結果を報告された。(株) 大林組の人見氏からは、「非破壊 CT-XRD 連成法の開発とその応用」というタイトルで、放射性廃棄物の長期保存等において課題となっているコンクリートの寿命予測において重要なその主要組成であるセメント硬化体の劣化メカニズムについて、劣化過程におけるセメント硬化体組織の形態、結晶組成分布の変化を、BL28B2 において開発された X 線 CT とエネルギー分散型 X 線回折による局所 X 線回折測定の複合測定技術である「CT-XRD 連成法」を用いて検討された結果について報告された。(株) 豊田中央研究所の矢野氏からは、「非弾性 X 線散乱によるナノ流体中の溶媒分子の集団挙動の解析」というタイトルで、前述の豊田ビームライン研究発表会の橋本氏の研究発表でも報告された高効率熱輸送媒体として注目されているナノ流体について、その熱伝導率増大メカニズムについてナノ粒子添加による溶媒分子の高周波音速への影響を BL35XU の非弾性 X 線散乱測定により検討した研究成果が紹介された。その結果から、熱伝導率増大効果の大きい銅粒子／

エチレングリコールと効果の小さいアルミナ粒子／水について得られたそれぞれの非弾性 X 線散乱スペクトルを比較すると、前者の高周波音速の増加が大きいことが確認されたことを報告された。



写真 1 口頭発表の様子

### 3. 技術交流会

この後午後 5 時 20 分から会場 11 階のバルテホールで技術交流会が開催された。総参加者の約半数近くの 104 名が参加し、活気あふれる雰囲気の中で行われた。例年同様、多様な産業分野と産学官の所属を跨いだ、SPring-8 利用者間の幅広く熱い交流が行われた。

### 4. 口頭発表 (2 日目)

2 日目は午前 9 時よりセッション 5 の「兵庫県成果報告会」から開始された。まず横山放射光ナノテクセンター長から、SPring-8 の兵庫県ビームライン (BL08B2、BL24XU) とニュースバルの現状の概要について報告があり、特に産業利用に向けた放射光利用計測と組み合わせた計算科学応用への取り組みに注力されていることを紹介された。その後、これら施設の利用成果について 5 件の発表があった。

最初の発表は、(株)日産アークの今井氏より、「放射光によるエネルギー変換デバイスの解析」というタイトルで、近年ますます活発に進められているエネルギー変換デバイス (電池、パワー半導体、等) 開発研究に向けた、同社の分析会社としての計測技術研究への放射光応用の現状を紹介された。さらに、その中で兵庫県ビームライン利用の位置付けを説明され、その利用事例として燃料電池用触媒の反応解析を電気化学反応セルを用いたオペランド XAFS 測定

果を紹介された。アイシン精機 (株) の舟本氏からは、「樹脂成形品の結晶化度分布解析を用いた変形予測精度向上」というタイトルで、軽量化目的から需要が高まっている自動車用樹脂成型部品において、高精度化が要求されている製造工程の形状制御で重要な、射出成型時の温度変化による変形予測の為に樹脂変形メカニズム解明を目的として、変形に影響すると考えられる樹脂の結晶化度の分布と変形挙動の相関を検討するため、BL24XU のマイクロビーム X 線回折測定技術を用いた回折プロファイルマッピングによる樹脂中の結晶化度分布の金型温度依存性を調べた結果が報告された。京都大学の豊田氏からは、「NAP-HARPES データを用いた多層積層薄膜界面の深さ方向分布解析法の開発」というタイトルで、半導体デバイス等の機能性多層積層薄膜において機能制御に重要な膜中の元素やその化学状態等の化学組成の深さ分布を硬 X 線角度分解光電子分光 (HARPES) 測定から解析するための技術開発を BL24XU に導入された NAP (Near Ambient Pressure) -HARPES 装置を用いて行った成果について報告された。(株)コベルコ科研の森氏からは「二次電池材料における in situ XAFS/XRD 同時計測システムの開発と取得データのインフォマティクスの適用」というタイトルで、二次電池の充放電特性制御メカニズムをビッグデータを用いたインフォマティクスを応用して多角的に検討する技術検討を目的として、二次電池正極材料の充放電時における結晶構造及び電子状態の変化のデータを効率的に取得するために BL08B2 で開発した XRD-XAFS 同時計測システムについて紹介された。さらに同装置の活用事例として、 $\text{Li}(\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3})\text{O}_2$  を正極材としたラミネートセルを用いた充放電時の in situ 実験で得たデータを、機械学習を用いて要因解析を行った結果が報告された。兵庫県立大の福島氏 (当日、前日の台風及び北海道地震の影響をうけた交通トラブルで神田氏に講演者変更) からは「産業分析用ビームライン BL05 の特徴と tender X-ray 領域での運用」というタイトルで、産業用分析ビームラインとして合同会社シンクロトロンアナリシス LLC によって運営されているニュースバルのビームライン BL05 について、同ビームラインで利用できる tender X-ray 領域 (1~4 keV) の X 線吸収分光技術が紹介された。

昼食休憩をはさんだ、ポスターセッションの後、午後 2 時 30 分より開始されたセッション 6 の「第 18 回サンビーム研究発表会」では、サンビーム共同体幹事の (株) 東芝の吉木氏からの共同体の活動趣旨説明の後、同共同体が運用する SPring-8 の産業用専用ビームラインサンビーム (BL16XU、BL16B2) を利用した共同体参加企業の成果について 6 件の発表があった。

最初に (株) 東芝の沖氏から、「リチウムイオン電池用新規負極材料の XAFS 解析」というタイトルで、電気自動車の実用化において求められている充電時間の短縮化と高容量化の両立を目指した 2 次電池の新規負極材料として同社が開発された  $\text{TiNb}_2\text{O}_7$  について、その高容量化のメカニズムを目的として充放電による同材料中の Ti、Nb の価数変化を BL16B2 における XAFS 測定で検討した結果が報告された。日亜化学工業 (株) の宮野氏からは、「X 線回折による照明用 LED 実装時の応力評価」というタイトルで、照明用 LED のパッケージに実装された GaN チップに生じている応力 (反り) を、BL16XU における高輝度高エネルギー X 線回折測定を用いた GaN 0008 回折のマッピングにより非破壊で評価した結果が報告された。住友電気工業 (株) の徳田氏からは、「レドックスフロー」型電池電解液の金属イオン状態解析」というタイトルで、大容量 2 次電池として期待されている電解液中の金属イオンの酸化還元反応を電池反応として用いるレドックスフロー電池について、コストダウンを目的として開発中の安価な Ti、Mn を活物質とした電解液の反応中の酸化還元挙動を BL16B2 における XAFS 測定及び BL19B2 における X 線散乱測定を用いて評価した結果が報告された。同電池は Mn を活物質として用いた場合、反応中に  $\text{MnO}_2$  が析出するという問題が生じるのを Ti を混合させることで抑制したもので、この抑制メカニズムについて得られた結果から議論された。パナソニック (株) の長尾氏からは、「 $\text{La}_3\text{Si}_6\text{Ni}_{11}:\text{Ce}^{3+}$  系蛍光体における  $\text{Ce}^{3+}$  近傍局所構造の解析」というタイトルで、照明用白色 LED において開発が求められている高出力光励起時に高い輝度を実現できる赤色蛍光体についてその材料設計指針を得るために、候補材料となる  $\text{Ce}^{3+}$  賦活蛍光体の Ce サイトの局所構造解析を BL16B2 における EXAFS 測定により行った結果を報

告された。(株) 日立製作所の米山氏からは、「オペランドトポグラフィーを用いた SiC MOSFET の積層欠陥の動的な観察」というタイトルで、パワーデバイス用材料である SiC において対策課題となっている結晶欠陥について、MOSFET 動作中におけるその挙動の観察を行うために BL16B2 において開発されたオペランド・トポグラフィー法を紹介された。



写真 2 口頭発表の質疑応答の様子

最後のセッション 7 では東京大学の両宮氏から報告会全体の講評をいただいた。まず、この産業利用分野における学術の参加をもっと促す取り組みが必要ではないかというご意見を示された。さらに、次世代光源計画が進む中で、政府からの産業利用への期待が大きいことに言及され、産業界の側からも SPring-8 での利用成果をもっと放射光への要望を積極的に示してほしい、という期待を述べられた。また、今後の若手の利用研究者の教育に SPRUC 主催の SPring-8 秋の学校を活用されてはどうかという提案もいただいた。最後に、JASRI 山川常務理事から閉会の挨拶が述べられ終了した。

## 5. ポスター発表

セッション 5 の後、ポスター発表が昼食休憩をはさんで午前 11 時 10 分からと午後 1 時 10 分からの 1 時間ずつ 2 回のコアタイムを設けて会場 11 階のパルテホールで行われた。主催団体のサンビーム共同体から 29 件、兵庫県 24 件、豊田中央研究所 8 件、JASRI 共用ビームライン 30 件、協賛の FSBL から 2 件の計 93 件のポスターに加えて、ひょうご SPring-8 賞、あいちシンクロトロン光センター、茨城県、兵庫県、SPring-8 利用推進協議会、SPRUC 企業利用研究会、

光ビームプラットフォーム、CROSS 東海、RIST、JASRI産業利用推進室から合わせて11件の施設紹介や利用制度、利用者動向などのポスターが掲示された。展示方法は、多様な利用分野の発表がある中で参加者が興味のある分野を選びやすいように第11回から分野別で行われており、今回は(1)装置・施設(17件)、(2)高分子・有機材料(16件)、(3)機械・金属材料(15件)、(4)エネルギー・電気化学(14件)、(5)触媒(8件)、(6)半導体・電子材料(19件)、(7)食品・日用品(3件)、(8)資源(5件)、(9)その他(11件)、の分類で展示された。自分の分野と違う分野のポスターの前で質疑をしている参加者も見られ、分野間の交流も進んでいる様子がかがわれた。



写真3 ポスター会場の様子

### 6. おわりに

こうして今年の産業利用報告会が無事、盛況のうちに終わることができた。準備段階から当日の会場運営、さらに事後の取りまとめなど、主催5団体の事務局のご尽力と共催団体の関係者各位のご協力にこの場を借りて感謝の意を表したい。

佐藤 真直 SATO Masugu

(公財)高輝度光科学研究センター 産業利用推進室  
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1  
TEL : 0791-58-0924  
e-mail : msato@spring8.or.jp

## 第2回 International SACLA Users' Meeting 会議報告

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  
大和田 成起、登野 健介、犬伏 雄一  
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  
XFEL 研究開発部門 藪内 俊毅

### 1. はじめに

2018年9月6日から7日にかけて、SACLA Users' Meeting 2018 が SACLA で開催された。SACLA の利用者会議としては通算で4回目となるが、前回(2017年12月開催)より海外からの参加者にも間口を広げ、国際会議となって今回が2回目となる。開催の直前に西日本を中心に甚大な被害をもたらした台風21号による交通機関の混乱にも関わらず、日本国内からの107名に加え海外からも7名が参加し、XFEL 利用研究の在り方について活発な議論が交わされた。なお、本会議は、SACLA の利用実績を持つユーザーだけでなく、ポテンシャルユーザーも参加可能となっている。

### 2. 会議の内容

第1日目は午前中に施設見学、午後からは全体セッションとして、施設の現状報告(2件)と招待講演(3件)が行われた。今回初の試みとなるポスターセッションでは、口頭発表では紹介しきれなかった実験設備の詳細が施設側担当者から発表されたほか、利用者側からも SACLA 利用成果に関する16件の発表が行わ



写真1 参加者の集合写真

れた。第2日目には、“Biology”、“Ultrafast Chemistry and AMO (Atomic Molecular and Optical science)”、“Material Science”および“XQO (X-ray Quantum Optics) and HEDS (High Energy Density Science)”の4つの分野に分かれてのブレイクアウトセッションが行われた。ブレイクアウトセッションでは、利用研究の今後の方向性や、施設の共用機器・実験環境などの運用や開発に関する要望などについて、それぞれの専門分野の観点から議論が行われた。続くショートプレゼンテーションセッションでは、施設への要望や新しい実験環境の提案が行われた。

以下では、各セッションの内容について簡潔にまとめたい。

#### 第1日目

まず、施設側からの利用者への情報発信として、SACLA 基盤開発プログラムについての説明(矢橋)と、最新のビームライン状況に関する報告(登野)が行われた。SACLA 基盤開発プログラムは、利用者の要望に応えながら SACLA の特色をさらに伸ばし、ユニークな成果の創出につなげることを目的として、今年度より新たに募集が開始された。詳細は下記サイトを参照されたい(2018年度の募集は終了しました)。  
[http://xfel.riken.jp/topics/sacla\\_basic\\_development\\_2018.html](http://xfel.riken.jp/topics/sacla_basic_development_2018.html)

続いて、SLAC (アメリカ) から Sebastian Boutet 氏、PSI (スイス) から Christopher Milne 氏、Sogang 大学 (韓国) から Hyunjung Kim 氏の3名を招いての招待講演が行われた。招待講演では、生命科学や超高速化学、材料科学などの分野について海外施設の動向なども交えた講演が行われた。

第1日目の最後にはポスターセッションが開催された。施設からは11件の発表があり、BL1~BL3の最新情報に関する発表が行われた。とくに、前回(2017年12月)からの更新情報として、波面分割光学系の常設化(BL3)、自己シード型FELの開発(BL3)、500 TW レーザーシステムの本格運用の開始(BL2)、タイミングモニターの導入(BL1)など様々なアップグレードに関する情報が追加され、利用者の関心も高かった。また、利用者からも16件のポスター発表があり、最新のSACLA利用研究成果について、施設側、利用者を交えて活発な議論が行われた。

## 第2日目

ブレイクアウトセッションでは4つの分科会を同時開催した。それぞれの分科会では3~5名の講演者から最新のSACLA利用成果や海外施設の動向についての発表があった後、利用支援のあり方や実験環境の高度化についての議論が行われた。また、ショートプレゼンテーションでは、予め募集した5件の口頭発表を通じて、新しい実験の提案や施設への要望などがあげられた。午後には、それぞれのブレイクアウトセッションを総括するサマリーセッションが開催され、全参加者による分野横断的な議論が活発に交わされた。

## “Biology”

シリアルフェムト秒結晶構造解析などにおける利用支援に対する施設側への要望といったテーマの議論が行われた。とくに現在の構造生物学分野は、タンパク質の結晶化に時間的・人的リソースを費やす必要があるため、その後のXFELを利用した測定を容易かつ確実に進めていくには、どのようにすれば良いのか

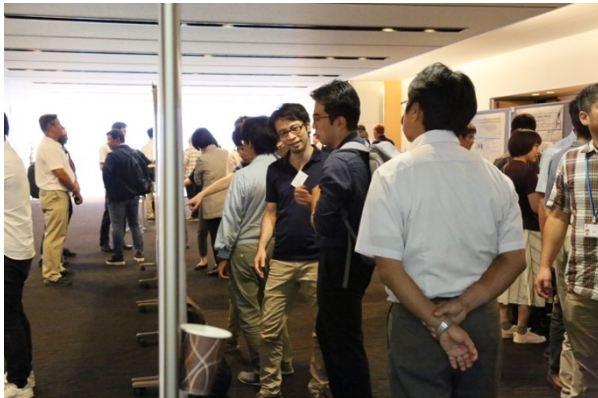


写真2 ポスターセッションの様子

という観点から議論が進められた。また、MPCCD検出器の画像データ量が非常に膨大なため、施設側による保存データの取り扱いに関するポリシーの策定の必要性についても議論された。

## “Ultrafast Chemistry and AMO”および“Material Science”

これらは異なる分科会ではあったが、同期レーザーを併用したポンプ・プローブ実験を共通して行うこともあり、同期レーザーやXFELの高度化についての要望が議論された。装置開発にはSACLA基盤開発プログラムを有効活用したいという意見があがった。また、要望の中には、すでに実現されているものも幾つかあり、施設と利用者の情報共有をどのように行うのが課題となった。

## “XQO and HEDS”

人材育成(とくにハイパワーレーザー関連)や、ハイパワーレーザーの利用についての議論が行われた。SACLAのハイパワーレーザーは世界的にも稀有な設備であり、その運用と利用、実験技術開発といったテーマについては、施設側だけでなく利用者側も巻き込んで議論すべき、との意見が出された。

## 3. まとめ

SACLA Users' Meetingは、単なる学術発表の場ではなく、利用者と施設の情報共有の場を目指して開催された。ポスターセッション、ブレイクアウトセッションやそれに続くサマリーセッションを通じて、それらの目的は果たせたように思える。一方で、ホームページなど、会議以外の場における施設からの情報発信



写真3 ブレイクアウトセッションの様子

のあり方に関する課題も明らかになった。本会議での利用者からの要望に対して施設側がどのように答え、また、施設側からの情報を利用者がどのように活かしていくのか、注目していただきたい。施設とユーザーコミュニティが相互に刺激を与えながら、ともに発展していくための礎として、SACLA Users' Meetingは今後も毎年開催されることとなっている。次回は2019年の8月もしくは9月頃に開催される予定である。

最後に、本ミーティングに関わっていただいた皆様に厚く御礼を申し上げ、SACLA Users' Meeting 2018の報告とさせていただきます。

大和田 成起 OWADA Shigeki

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

登野 健介 TONO Kensuke

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

犬伏 雄一 INUBUSHI Yuichi

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

藪内 俊毅 YABUUCHI Toshinori

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

## 第2回 SPring-8 秋の学校を終えて

SPring-8 ユーザー協同体 (SPRUC) 利用幹事  
 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構  
 量子ビーム科学研究部門 大和田 謙二

### 秋の学校概要

第2回 SPring-8 秋の学校が、9月17日(月)～9月20日(木)の3泊4日の日程で開催されました。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のもとに行われました。校長は SPRUC 会長の関西学院大学教授水木純一郎先生にご就任いただき、事務局は JASRI 利用推進部が担当いたしました。

SPRUC が主催として加わる「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。放射線業務従事者登録や学年、指定校推薦などの参加資格の制限はなく、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、となることを目指しました。

今回、18校16社(国研、大学含む)から45名の参加を得ました。内訳は次の通りです。学生25名(学部2年生1名、学部3年生3名、学部4年生11名、高専専攻科2年1名、博士課程前期1年4名、博士課程前期2年4名、博士課程後期2年1名)、社会人20名(企業からの参加17名、大学関係者2名、国研

関係者1名)。男性30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」であり、そのほとんどが過去においてもユーザー登録がなされていない方々でした。

### 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12テーマから希望する3テーマを選択し、受講しました。初日には、SACLA と SPring-8 実験ホールの見学、最終日には SPring-8 蓄



図1 講義風景

### 第2回 SPring-8 秋の学校 日程表

	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
9/17 (月)		10:00-10:30 受付	10:30-11:20 開校式	11:20-12:50 ≪基礎講義1≫ 放射光発生の基礎 金城 良太 (理研)	12:50-14:00 昼食	14:00-15:20 ≪基礎講義2≫ ビームライン ～光源と実験ステーションの間～ 山崎 裕史 (JASRI)	15:20-17:10 ≪基礎講義3≫ X線射出線の基礎 雨宮 慶幸 (東大)	17:20-18:00 集合写真撮影	18:00-19:30 懇親会		
9/18 (火)	9:00-10:20 ≪講義4≫ X線自由電子レーザー入門 井上 伊知郎 (理研)	10:30-11:50 ≪基礎講義5≫ X線回折入門 熊坂 崇 (JASRI)	11:50-13:00 昼食	13:00-15:00 SPring-8実験ホール/SACLA見学	15:10-16:30 ≪基礎講義6≫ XAFS 新田 清文 (JASRI)	16:40-18:00 ≪基礎講義7≫ X線イメージング 矢代 航 (東北大)	18:00-19:30 夕食				
9/19 (水)	9:30-10:30 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		17:30-18:00 移動	18:00-19:30 懇親会BBQ		
9/20 (木)	9:30-10:30 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蓄積リング 加速器収納部見学	15:30-17:00 閉校式				



積リング加速器収納部の見学が行われました。参加者のバックグラウンドは多様であり、参加者間の異分野交流を深めるために、懇親会も行われました。今年のスケジュールは以下の通りでした。

#### 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、参加者にとって満足のゆく講義であったと思われまます。

##### 基礎講義 1. 放射光発生の基礎

金城良太(理化学研究所)

##### 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～  
山崎裕史(高輝度光科学研究センター)

##### 基礎講義 3. X線検出器の基礎

雨宮慶幸(東京大学)

##### 基礎講義 4. X線自由電子レーザー入門

井上伊知郎(理化学研究所)

##### 基礎講義 5. X線回折入門

熊坂崇(高輝度光科学研究センター)

##### 基礎講義 6. XAFSの基礎

新田清文(高輝度光科学研究センター)

##### 基礎講義 7. X線イメージング

矢代航(東北大学)

#### 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)は以下の通りであり、主にはSPRUC研究会よりご提案いただきました。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



図2 グループ講習風景

ことで効果的な講習になったと思われまます。講習によってはPCの持込み、ソフトウェアの事前インストールなどを推奨し、効果をあげているようでした。

##### 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)

星野学(理化学研究所)

##### 2. 粉末X線回折によるその場観測の実際

笠井秀隆(筑波大学)

石橋広記(大阪府立大学)

##### 3. タンパク質結晶解析

水島恒裕(兵庫県立大学)

田中良和(東北大学)

##### 4. 小角X線散乱

増永啓康(高輝度光科学研究センター)

##### 5. 応力・ひずみ解析

秋庭義明(横浜国立大学)

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)

##### 6. 小角X線散乱による高分子材料の*in-situ*構造形成解析

坂本直紀(旭化成株式会社)

##### 7. X線吸収分光法

朝倉博行(京都大学)

水牧仁一郎(高輝度光科学研究センター)

新田清文(高輝度光科学研究センター)

##### 8. 軟X線吸収分光法

鶴田一樹(高輝度光科学研究センター)

##### 9. 赤外分光分析

池本夕佳(高輝度光科学研究センター)

##### 10. 光電子分光(HAXPES)

藤原秀紀(大阪大学)

##### 11. 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)

##### 12. X線イメージング

矢代航(東北大学)

SPring-8秋の学校は今回が2回目、先の概要で申し上げた開催趣旨以外は、開催ごとに見直ししており、現在進行形で充実させております。今年は、昨年好評であった企業からの参加者を増やすことを試み、企業関係

者(ソフトマター系、ハードマター系からそれぞれ)に実行委員会に入っただき、テーマ設定や情報宣伝の助言をいただきました。この取り組みが実を結び、社会人の参加者が昨年の7社10名から16社20名に増加しました。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に発展させていくかはSPRUC全体の課題です。また、SPring-8秋の学校の企画がSPRUC会員に浸透し、回数を重ねていけば、初心に立ち返ることも必要となるでしょう。SPRUCの皆様のご意見を賜ることができれば幸いです。

### 謝辞

工夫を凝らして分かりやすく丁寧に講義をくださった講師の先生方、2日間にわたる講習を熱心に指導してくださっ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、大人数の参加者にSPring-8蓄積リング加速器収納部の見学を可能にくださったJASRI光源基盤部門の方々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、ウェブ作成から懇親会・バーベキューのお世話までしていただいたJASRI事務局担当者の方々、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 量子ビーム科学研究部門  
〒679-5198 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



図3 懇親会風景

### 第2回SPring-8秋の学校に参加して

奈良工業高等専門学校

専攻科 電気電子システムコース

竹内 誠

私は奈良工業高等専門学校で電気電子工学を専攻している専攻科2年生です。普段は電気めつき技術に応用した研究に取り組んでおりますが、SPring-8はこれまでに利用したことがありませんでした。そのため、今回の「第2回SPring-8秋の学校」は大学院進学後の研究活動に活かせるよう、放射光科学の基礎から応用に至るまでを学びたいという思いがあり、さらに他大学への研究室訪問の際にSPring-8に関する話をよく耳にしており、非常に興味があったことから参加を考えました。

秋の学校は4日間のカリキュラム構成となっており、前半2日は受講者全員で放射光発生基礎などの基礎講義を受け、後半2日は割り当てられたメンバーとペアとなりグループ講習を受けました。さらに、2日目にはSPring-8実験ホール/SACLA、4日目にはSPring-8蓄積リング加速器収納部を見学させていただきました。基礎講義では、理論を数式で説明するのではなく、大学3年生が十分に理解できる水準に設定されており、すでに学校で学んだことのある内容は頭の整理になり、そこからの発展内容が頭に入りやすかったです。また、理論だけではなく例え話などにより、イメージしやすく説明してくださったので、聞き入ることができて非常に良かったです。また、グループ講習において私は「粉末X線回折によるその場観測の実際」、「単結晶構造解析」、「X線イメージング」を選択しました。粉末X線回折は研究で少し経験があったのですが、学校の測定機と比較して非常に短い時間で測定ができることに驚き、放射光の素晴らしさを実感しました。今回の秋の学校期間中は蓄積リングの停止期間で、実際に測定している場面を見ることができなかったので少し残念な気持ちもありましたが、今後夏の学校あるいは配属先の研究室でSPring-8を使用する際に、学んだことを活かして使用したいと思いました。施設見学では、多くのビームラインの実験設備や、通常では見ることができないSPring-8内部を拝見させ

ていただきました。基礎講義で SPring-8 による放射光発生原理などの学習後だったので、すでに学んだ内容は頭の整理になり、アンジュレータや偏光電磁石など初めて学ぶ SPring-8 内の装置は興味深く見ることができました。

初日の懇親会や3日目の懇親会バーベキューでは交友関係を広げることができ、学生だけでなく先生方とお話することができました。

今回の秋の学校で、私は放射光科学の基礎から応用まで広く知識を得ることができました。さらに、実習や懇親会では多くの先生方をはじめ、他大学の学生と交流する機会も豊富にあり、今後の研究生生活のモチベーションアップに繋がったと思います。講師の先生方、実習担当の皆様ならびに実行委員会の皆様に厚く御礼申し上げます。

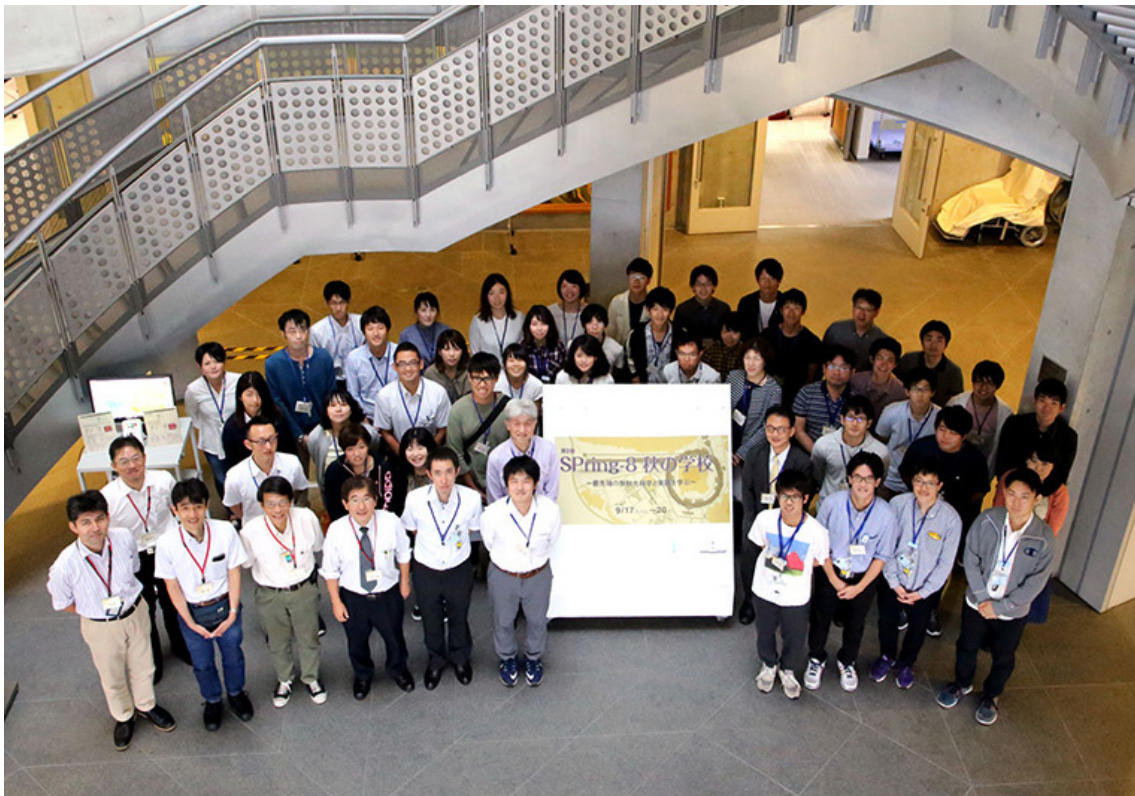


図4 記念写真

## 2019A 期の SPring-8 における成果非専有の 産業利用分野向けの課題について

登録施設利用促進機関

公益財団法人高輝度光科学研究センター

一般課題（産業利用分野）および放射光施設横断産業利用課題に加えて、2019A 期より新たに領域指定型の重点研究課題として「先進技術活用による産業応用課題」の募集を開始しました。2019A 期の SPring-8 における成果非専有の産業利用分野向けの課題一覧は下記の通りです。

課題種名	先進技術活用による産業応用課題	一般課題（産業利用分野）	放射光施設横断産業利用課題
特徴	産業応用を志向する実験責任者が、今までに利用経験がない SPring-8 の測定技術을 新たに利活用することによって、高度な課題解決および新たな利用ニーズの発掘を推進することを目的とした産業利用分野の課題	産業利用分野の課題	SPring-8 を含む国内の放射光施設において、それぞれの特徴を活かした放射光利用実験および利用成果の深化・拡大を目的とした産業利用分野の課題
対象 BL	産業利用 BL3 本を除く共用 BL23 本 + 理研 BL9 本	共用 BL26 本 + 理研 BL9 本	産業利用 BL3 本
応募要件	①実験責任者または共同実験者に、民間企業または産業界に準ずる機関等に所属する者を含むこと ②実験責任者にとって、SPring-8 で利用経験がない測定技術を利用する課題であること*（利用経験がない測定技術かどうか不明な場合は、本課題へ申請してください） ③課題申請前に、 <u>実施可能性や具体的な実施方法について、必ず各 BL 担当者に相談すること</u>	実験責任者または共同実験者に、民間企業または産業界に準ずる機関等に所属する者を含むこと	①実験責任者または共同実験者に、民間企業または産業界に準ずる機関等に所属する者を含むこと ②SPring-8 以外の日本国内に設置された放射光施設での実験結果を踏まえ、SPring-8 利用が適すると判断された産業分野の課題であること*（課題申請時に SPring-8 以外の施設での実験が実施済みもしくは採択済みであることが必要）
希望審査分野	産業利用		
締切と審査	年 2 回	産業利用 BL3 本は年 6 回 その他の BL は年 2 回	年 6 回

※応募要件を満たさない場合は、自動的に一般課題（産業利用分野）で再審査されます。

申請にあたり、ご不明な点がございましたら下記までお問い合わせください。

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

## 2019A 期 SPring-8 利用研究課題募集について

登録施設利用促進機関

公益財団法人高輝度光科学研究センター

2019A 期 SPring-8 利用研究課題の募集を開始しました。募集対象の課題種や申請の際の注意事項等の詳細につきましては、SPring-8 公式 HP 上の「現在募集中の SPring-8 利用研究課題」([http://www.spring8.or.jp/ja/users/proposals/call\\_for/](http://www.spring8.or.jp/ja/users/proposals/call_for/)) よりご確認ください。

- 2019A SPring-8 利用研究課題募集要項
- 2019A 生命科学／タンパク質結晶構造解析分野の課題の運用について
- 2019A SPring-8 における“SACLA、J-PARC MLF または「京」と連携した利用を行う課題”の募集について
- 2019A 成果公開優先利用課題の募集について  
応募締切：2018 年 11 月 22 日（木）午前 10:00JST（提出完了時刻）
- 2019A 長期利用課題の募集について  
応募締切：2018 年 11 月 22 日（木）午前 10:00JST（提出完了時刻）
- 2019A 一般課題／一般課題（産業利用分野）の募集について  
応募締切：2018 年 12 月 6 日（木）午前 10:00JST（提出完了時刻）
- 2019A 大学院生提案型課題の募集について  
応募締切：2018 年 12 月 6 日（木）午前 10:00JST（提出完了時刻）
- 2019A 放射光施設横断産業利用課題の募集について  
応募締切：2018 年 12 月 6 日（木）午前 10:00JST（提出完了時刻）
- 2019A 先進技術活用による産業応用課題の募集について  
応募締切：2018 年 12 月 6 日（木）午前 10:00JST（提出完了時刻）

### <特記>

1. 緊急課題、成果専有時期指定課題および測定代行課題（測定代行課題は一部共用ビームラインのみ対象）は、随時募集しています。
2. 2019A 期より新たに、領域指定型の重点研究課題として「先進技術活用による産業応用課題」の募集を開始します。
3. 「社会・文化利用課題」の募集は前期（2018B 期）で終了しました。

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

### ■ SPring-8 利用研究課題募集の概要

([http://www.spring8.or.jp/ja/users/proposals/call\\_for/summary](http://www.spring8.or.jp/ja/users/proposals/call_for/summary))

申請にあたり、ご不明な点がございましたら下記までお問い合わせください。

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

## 2019A 期 SACLA 利用研究課題の募集について

登録施設利用促進機関  
公益財団法人高輝度光科学研究センター

2019A 期 SACLA 利用研究課題の募集を開始しました。

■ 一般課題（成果非専有利用）

応募締切：2018 年 11 月 9 日（金）午前 10:00 JST（提出完了時刻）

■ 一般課題（成果専有利用）

応募締切：2018 年 11 月 9 日（金）午前 10:00 JST（提出完了時刻）

課題の申請や、申請の際の注意事項等の詳細につきましては、SACLA Web サイト (SACLA User Information) 上の、SACLA 利用案内 > 利用制度/募集案内 > 現在募集中の利用研究課題 の「2019A 期における SACLA 利用研究課題の募集について」 (<http://sacra.xfel.jp/?p=1517>) よりご確認ください。

<2019A 期からの新規事項>

○セルフシード XFEL

BL3 において、反射型セルフシード方式による XFEL の利用が可能となりました。セルフシード XFEL は、SASE 型 XFEL と同等の平均パルスエネルギーを有しつつ、高い単色性を示します。この方式の XFEL の提供には 1 シフト程度の調整時間が必要です。また、波長変更にも通常より長い時間を要します。これらの調整時間はユーザービームタイムに含めます。利用を希望するユーザーは、課題申請前に必ず XFEL 利用研究推進室 ([sacra-bl.jasri@spring8.or.jp](mailto:sacra-bl.jasri@spring8.or.jp)) に連絡し、提供可能な波長範囲などの条件をご確認ください。

なお、成果を公表しない成果専有利用のうち、定期的な募集の締切によらず応募・受付される時期指定課題の申請も随時受け付けています ([http://sacra.xfel.jp/?page\\_id=10937](http://sacra.xfel.jp/?page_id=10937))。

申請された時期指定課題は順次迅速に審査されます (ビーム使用料は通常の成果専有利用の 5 割増しとなります)。

申請にあたり、ご不明な点がございましたら下記までお問い合わせください。

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

## 第 42 回 (2018B) SPring-8 利用研究課題の採択について

登録施設利用促進機関

公益財団法人高輝度光科学研究センター  
利用推進部

公益財団法人高輝度光科学研究センター (JASRI) では、SPring-8 利用研究課題審査委員会 (PRC) において SPring-8 の利用研究課題を審査した結果を受け、SPring-8 選定委員会の意見を聴き、以下のように第 42 回共同利用期間 (2018 年 10 月 2 日～2019 年 2 月 13 日 (放射光利用 291 シフト、1 シフト=8 時間)) における利用研究課題を採択しました。ただし、産業利用 I、II および III ビームライン (BL19B2、BL14B2 および BL46XU) は 2018B を 3 期に分けて募集しており、これらのビームラインについては第 1 期の 2018 年 10 月 2 日～10 月 9 日 (108 シフト) における課題を採択しました。表 1 に利用研究課題公募履歴を示します。

### 1. 募集、審査および採択の日程

#### [募集案内公開と応募締切]

2018 年 4 月 27 日 SPring-8 ホームページで主要課題の募集案内公開

(利用者情報 2018 年 5 月号に募集案内記事を掲載)

5 月 24 日 成果公開優先利用課題応募締切

6 月 7 日 一般課題、大学院生提案型課題および領域指定型重点研究課題 (放射光施設横断産業利用課題および社会・文化利用課題) 応募締切

#### [課題審査、選定、採択および通知]

2018 年 7 月 3 日～7 月 12 日

各分科会による課題審査 (長期利用以外)

7 月 13 日 SPring-8 利用研究課題審査委員会 (PRC) による課題審査

7 月 31 日 SPring-8 選定委員会の意見を聴取

8 月 6 日 JASRI として採択決定し応募者に審査結果を通知

### 2. 応募および採択状況

2018B の新規応募課題数は 779、採択課題数は 574 でした (新分野創成利用研究課題 [採択された新分野創成利用研究グループが実施する課題] は含まず)。表 2 に 2018B 期の利用研究課題の課題種別の応募課題数および採択課題数と採択率 (%) を示します。2-1 に決定課題種別の統計を示します (重点課題として応募

された課題のうち一般課題として採択された課題の課題種は一般課題として整理)。2-2 に放射光施設横断産業利用課題および社会・文化利用課題の応募数と採択数を示します。また、表 3 に成果非専有課題としての科学技術的妥当性の審査対象となる課題 (成果非専有一般課題、大学院生提案型課題、放射光施設横断産業利用課題、社会・文化利用課題および長期利用課題) への応募 708 件について、ビームラインごとの応募課題数、採択課題数、採択率および配分シフト数、並びに採択された課題の 1 課題あたりの平均配分シフト数を示します。表 4 には全応募 779 課題について、申請者の所属機関分類と課題の研究分野分類の統計を示します。このうち、所属機関および研究分野について全体に対する割合をそれぞれ図 1 および図 2 に示します。SPring-8 と SACLA、J-PARC の MLF、または「京」と連携して利用する課題として、SPring-8 には 3 件の応募があり、うち 3 件が採択されました。なお本記事の統計には、産業利用ビームラインの第 2 期および第 3 期分、並びに期中に随時募集する成果専有時期指定課題 (測定代行課題含む) 等は含まれていません。

### 3. 採択課題

2018B 期の採択課題の一覧は、SPring-8 ホームページに掲載しています。以下をご覧ください。

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

なお、2018B 期に新規で採択された新分野創成利用研究グループの紹介を本誌に掲載しています。

表1 利用研究課題 公募履歴

利用期	利用期間	ユーザー 利用シフト*	応募締め切り**	応募課題数	採択課題数
第1回:1997B	1997年10月-1998年03月	168	1997年01月10日	198	134
第2回:1998A	1998年04月-1998年10月	204	1998年01月06日	305	229
第3回:1999A	1998年11月-1999年06月	250	1998年07月12日	392	258
第4回:1999B	1999年09月-1999年12月	140	1999年06月19日	431	246
第5回:2000A	2000年02月-2000年06月	204	1999年10月16日	424	326
第6回:2000B	2000年10月-2001年01月	156	2000年06月17日	582	380
第7回:2001A	2001年02月-2001年06月	238	2000年10月21日	502	409
第8回:2001B	2001年09月-2002年02月	190	2001年05月26日	619	457
第9回:2002A	2002年02月-2002年07月	226	2001年10月27日	643	520
第10回:2002B	2002年09月-2003年02月	190	2002年06月03日	751	472
第11回:2003A	2003年02月-2003年07月	228	2002年10月28日	733	563
第12回:2003B	2003年09月-2004年02月	202	2003年06月16日	938	621
第13回:2004A	2004年02月-2004年07月	211	2003年11月04日	772	595
第14回:2004B	2004年09月-2004年12月	203	2004年06月09日	886	562
第15回:2005A	2005年04月-2005年08月	188	2005年01月05日	878	547
第16回:2005B	2005年09月-2005年12月	182	2005年06月07日	973	624
第17回:2006A	2006年03月-2006年07月	220	2005年11月15日	916	699
第18回:2006B	2006年09月-2006年12月	159	2006年05月25日	867	555
第19回:2007A	2007年03月-2007年07月	246	2006年11月16日	1099	761
第20回:2007B	2007年09月-2008年02月	216	2007年06月07日	1007	721
第21回:2008A	2008年04月-2008年07月	225	2007年12月13日	1009	749
第22回:2008B	2008年10月-2009年03月	189	2008年06月26日	1163	659
第23回:2009A	2009年04月-2009年07月	195	2008年12月11日	979	654
第24回:2009B	2009年10月-2010年02月	210	2009年06月25日	1076	709
第25回:2010A	2010年04月-2010年07月	201	2009年12月17日	919	665
第26回:2010B	2010年10月-2011年02月	210	2010年07月01日	1022	728
第27回:2011A	2011年04月-2011年07月	215	2010年12月09日	1024	731
第28回:2011B	2011年10月-2012年02月	195	2011年06月30日	1077	724
第29回:2012A	2012年04月-2012年07月	201	2011年12月08日	816	621
第30回:2012B	2012年10月-2013年02月	222	2012年06月28日	965	757
第31回:2013A	2013年04月-2013年07月	186	2012年12月13日	880	609
第32回:2013B	2013年10月-2013年12月	159	2013年06月20日	905	594
第33回:2014A	2014年04月-2014年07月	177	2013年12月12日	874	606
第34回:2014B	2014年10月-2015年02月	230	2014年06月19日	1030	848
第35回:2015A	2015年04月-2015年07月	207	2014年12月11日	1030	685
第36回:2015B	2015年09月-2015年12月	198	2015年06月11日	974	632
第37回:2016A	2016年04月-2016年07月	216	2015年12月10日	907	699
第38回:2016B	2016年09月-2016年12月	198	2016年06月02日	977	637
第39回:2017A	2017年04月-2017年07月	210	2016年12月08日	947	678
第40回:2017B	2017年10月-2018年02月	240	2017年06月08日	1000	761
第41回:2018A	2018年04月-2018年08月	228	2017年12月07日	931	719
第42回:2018B	2018年10月-2019年03月	234	2018年06月07日	(779)	(574)

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

\*\*一般課題の応募締め切り日

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

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

2018Bは今後、産業利用ビームラインの第2・3期分、期中随時募集の成果専有時期指定課題等があるため現在の値は括弧内に示す。



表2 2018B SPring-8 利用研究課題の課題種別応募および採択課題数と採択率

2-1

決定課題種*	応募課題数	採択課題数	採択率 (%)	採択課題のシフト充足率 (%) ****
一般課題 (成果非専有) **	609	441	72.4	93.9
一般課題 (成果専有)	34	34	100.0	100.0
大学院生提案型課題**	83	46	55.4	98.9
(重点) 放射光施設横断産業利用課題**	1	1	100.0	100.0
(重点) 社会・文化利用課題**	15	15	100.0	83.7
成果公開優先利用課題	37	37	100.0	100.0
長期利用課題 (年1回A期のみ募集のため、2018B期募集なし)	-	-	-	-
総計	779	574	73.7	94.4
科学審査対象課題**のみの合計	708	503	71.0	94.0

\*重点課題で応募のうえ一般課題として採択されたものは、それぞれ決定した課題種で応募数を表示。  
 \*\*一般課題等のうち SACLA、JPARC/MLF または「京」を連携して利用する課題は、SPring-8 では応募3課題のうち3課題を採択。  
 \*\*\*成果専有課題と優先利用課題を除いた課題。  
 \*\*\*\*PX-BL 課題 (期中に配分シフトを決定する生命科学/タンパク質結晶構造解析分野関係課題) を除く。

2-2

応募課題種	応募課題数	重点課題としての採択課題数	一般課題としての採択課題数	重点課題としての採択率 (%)	課題採択率 (%)
(重点) 放射光施設横断産業利用課題	1	1	0	100.0	100.0
(重点) 社会・文化利用課題	18	15	3	83.3	100.0

表3 2018B ビームラインごとの審査対象課題\*の採択状況

ビームライン	応募課題数計	採択課題計	採択率 (%)	配分シフト数計**	1課題あたり平均配分シフト**
BL01B1: XAFS	37	32	86.5	197	6.2
BL02B1: 単結晶構造解析	25	22	88.0	147	6.7
BL02B2: 粉末結晶構造解析	52	39	75.0	177	4.5
BL04B1: 高温高圧	19	15	78.9	186	12.4
BL04B2: 高エネルギーX線回折	27	21	77.8	181	8.6
BL05XU: 理研 施設診断 I	4	4	100.0	33	8.3
BL08W: 高エネルギー非弾性散乱	19	17	89.5	204	12.0
BL09XU: 核共鳴散乱	20	7	35.0	99	14.1
BL10XU: 高圧構造物性	25	18	72.0	162	9.0
BL13XU: 表面界面構造解析	30	19	63.3	198	10.4
BL14B2: 産業利用 II	24	12	50.0	81	6.8
BL17SU: 理研 物理学 III	8	4	50.0	51	12.8
BL19B2: 産業利用 I	9	9	100.0	54	6.0
BL19LXU: 理研 物理学 II	6	3	50.0	57	19.0
BL20B2: 医学・イメージング I	30	26	86.7	182	7.0
BL20XU: 医学・イメージング II	31	21	67.7	186	8.9
BL25SU: 軟X線固体分光	27	17	63.0	174	10.2
BL26B1: 理研 構造ゲノム I***	0	0	0.0	0	0.0
BL26B2: 理研 構造ゲノム II***	0	0	0.0	0	0.0
BL27SU: 軟X線光化学	32	12	37.5	143	11.9
BL28B2: 白色X線回折	21	16	76.2	194	12.1
BL29XU: 理研 物理学 I	1	1	100.0	16	16.0
BL32XU: 理研 ターゲットタンパク****	0	0	0.0	0	0.0
BL35XU: 高分解能非弾性散乱	15	13	86.7	204	15.7
BL37XU: 分光分析	31	14	45.2	180	12.9
BL38B1: 構造生物学 III***	5	5	100.0	24	4.8
BL39XU: 磁性材料	25	13	52.0	183	14.1
BL40B2: 構造生物学 II	48	34	70.8	210	6.2
BL40XU: 高フラックス	37	24	64.9	192	8.0
BL41XU: 構造生物学 I***	0	0	0.0	0	0.0
BL43IR: 赤外物性	22	21	95.5	200	9.5
BL44B2: 理研 物質科学	1	1	100.0	3	3.0
BL45XU: 理研 構造生物学 I	12	8	66.7	51	6.4
BL46XU: 産業利用 III	16	8	50.0	53	6.6
BL47XU: 光電子分光・マイクロCT	24	23	95.8	195	8.5
PX-BL (BL38B1、41XU、26B1、26B2、32XU)	25	24	96.0	-	-
総計	708	503	71.0	4217	8.4

\*成果非専有一般課題、大学院生提案型課題、重点2課題  
 \*\*1シフト=8時間  
 \*\*\*PX-BL 対象 BL (PX-BL 運用以外の対象課題の課題数及びシフト数)  
 産業利用ビームラインの第2・3期募集分等は含まず。

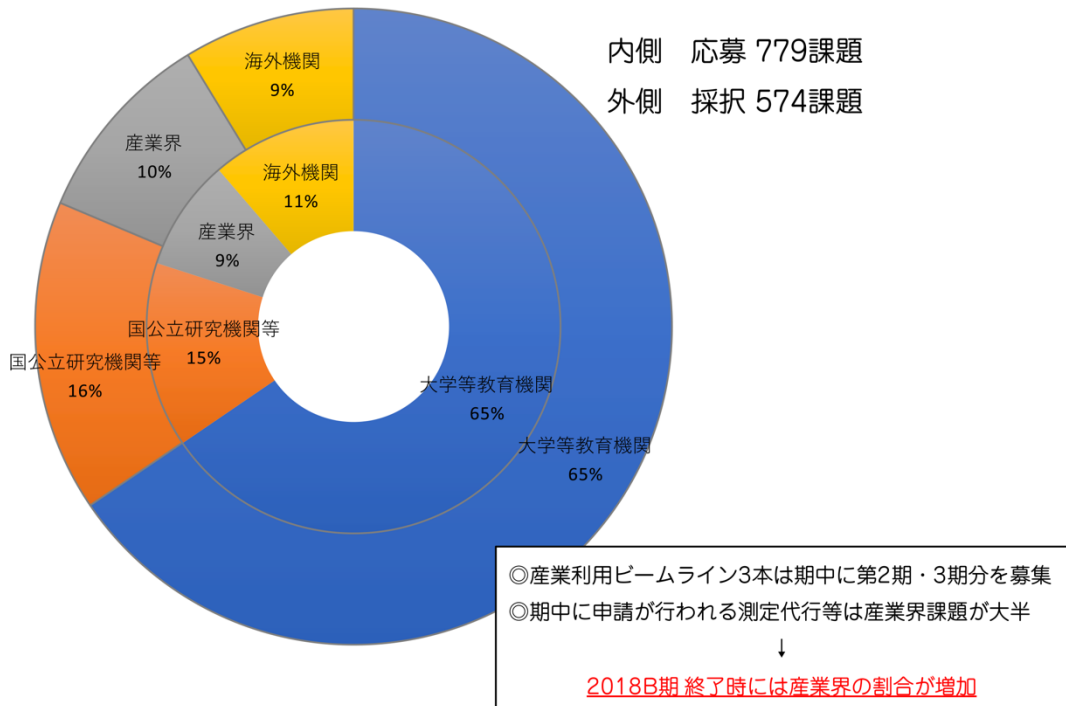


図1 2018B 所属機関別 応募/採択課題数割合

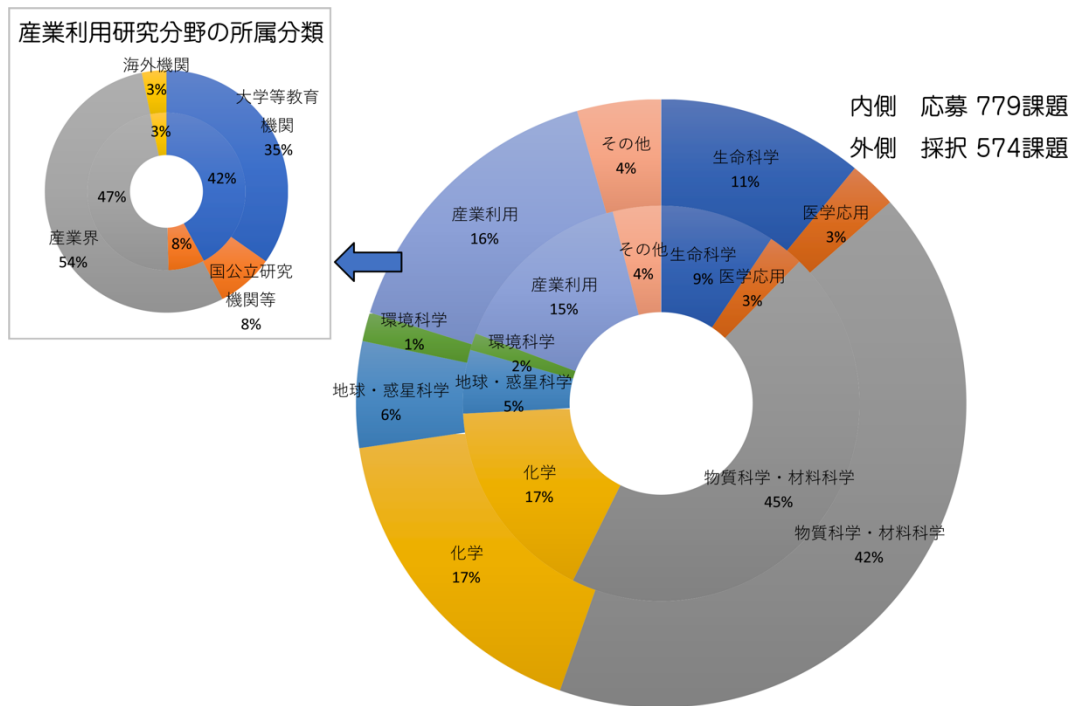


図2 2018B 研究分野別 応募/採択課題数割合

表 4 SPring-8 2018B 応募・採択結果の機関および研究分野分類

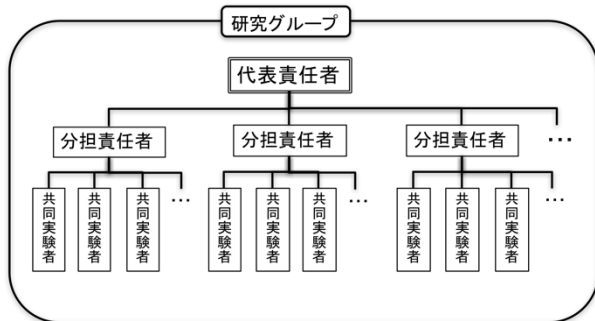
機関分類	課題分類		生命科学		医学応用		物質科学・材料科学		化学		地球・惑星科学		環境科学		産業利用		その他*		総計		採択率 (%)	
	決定課題種	課題数/シフト数	応募	採択	応募	採択	応募	採択	応募	採択	応募	採択	応募	採択	応募	採択	応募	採択	応募	採択		
大学等教育機関	一般課題 (非専有)	課題数	39	32	9	6	200	142	87	68	22	20	2	1	35	23	7	5	401	297	74.1	
		シフト数	261	195	78	45	1830	1254	607	457	291	267	12	12	239	134	75	54	3393	2418	71.3	
	大学院生提案型課題	課題数	3	3	2	1	43	27	12	6	2	2			12	5	1	0	75	44	58.7	
		シフト数	6	6	11	6	328	207	90	42	18	18			74	33	6	0	533	312	58.5	
	放射光施設横断産業利用課題	課題数													1	1				1	1	100.0
		シフト数													3	3				3	3	100.0
	社会・文化利用課題	課題数					1	1			2	2	1	1			7	7	11	11	100.0	
		シフト数					9	9			12	12	12	12			48	39	81	72	88.9	
	成果公開優先利用課題	課題数			1	1	8	8	11	11					4	4	1	1	25	25	100.0	
		シフト数			6	6	63	63	96	96					27	27	6	6	198	198	100.0	
合計	課題数	42	35	12	8	252	178	110	85	26	24	3	2	52	33	16	13	513	378	73.7		
	シフト数	267	201	95	57	2230	1533	793	595	321	297	24	24	343	197	135	99	4208	3003	71.4		
国立研究機関等	一般課題 (非専有)	課題数	10	10	6	5	41	30	6	3	9	6	5	6	4	11	10	95	73	76.8		
		シフト数	75	75	70	39	405	306	105	54	120	75	54	36	37	33	119	95	985	713	72.4	
	一般課題 (専有)	課題数	1	1					1	1					1	1			3	3	100.0	
		シフト数	14	14					1	1					1	1			16	16	100.0	
	社会・文化利用課題	課題数			1	1											3	3	4	4	100.0	
		シフト数			24	12											24	24	48	36	75.0	
	成果公開優先利用課題	課題数	3	3			5	5	1	1					2	2			11	11	100.0	
		シフト数	38	38			40	40	3	3					10	10			91	91	100.0	
	合計	課題数	14	14	7	6	46	35	8	5	9	6	6	5	9	7	14	13	113	91	80.5	
		シフト数	127	127	94	51	445	346	109	58	120	75	54	36	48	44	143	119	1140	856	75.1	
産業界	一般課題 (非専有)	課題数			1	0	6	3							29	22			36	25	69.4	
		シフト数			15	0	54	27							248	179			317	206	65.0	
	一般課題 (専有)	課題数	3	3			3	3							23	23			29	29	100.0	
		シフト数	6.5	6.5			9	9							93.5	93.5			109	109	100.0	
	成果公開優先利用課題	課題数					1	1											1	1	100.0	
シフト数						3	3											3	3	100.0		
合計	課題数	3	3	1	0	10	7	0	0	0	0	0	0	52	45	0	0	66	55	83.3		
	シフト数	6.5	6.5	15	0	66	39	0	0	0	0	0	0	341.5	272.5	0	0	429	318	74.1		
海外機関	一般課題 (非専有)	課題数	14	11	3	1	42	22	8	5	5	3	2	2	3	2			77	46	59.7	
		シフト数	118	57	52	15	542	199	145	63	65	39	15	15	40	30			977	418	42.8	
	一般課題 (専有)	課題数	1	1											1	1			2	2	100.0	
		シフト数	6	6											18	18			24	24	100.0	
	大学院生提案型課題	課題数					5	2	1	0	1	0					1	0	8	2	25.0	
		シフト数					74	39	18	0	6	0					15	0	113	39	34.5	
合計	課題数	15	12	3	1	47	24	9	5	6	3	2	2	4	3	1	0	87	50	57.5		
	シフト数	124	63	52	15	616	238	163	63	71	39	15	15	58	48	15	0	1114	481	43.2		
合計	課題数	74	64	23	15	355	244	127	95	41	33	11	9	117	88	31	26	779	574	73.7		
	シフト数	524.5	397.5	256	123	3357	2156	1065	716	512	411	93	75	790.5	561.5	293	218	6891	4658	67.6		
採択率 (%)	課題数	86.5		65.2		68.7		74.8		80.5		81.8		75.2		83.9		73.7				
	シフト数	75.8		48.0		64.2		67.2		80.3		80.6		71.0		74.4		67.6				

\*ビームライン技術、素粒子・原子核科学、考古学、鑑識科学、安全管理

## 2018B 期 採択「新分野創成利用」研究グループの紹介

公益財団法人高輝度光科学研究センター  
利用推進部

「新分野創成利用」は、SPring-8 の利用研究成果創出を質的・量的に飛躍させるために、既存の研究分野の枠を超えた複合・融合領域等における未踏分野の開拓・創成およびそれに伴う利用の裾野を拡大することを目的としています。公募は、SPring-8 で未踏分野の研究を展開しようとする研究グループ（構成は以下の図のとおり）を対象とします。採択されたグループは、代表責任者の裁量により有効期間（2年間）内に各分担責任者が複数ビームラインで「新分野創成利用課題」を実施することも可能となり、またビームタイムも認められた範囲内で期ごとに任意に配分（但し審査あり）することができます。



2018B 期は、1 グループの応募があり、新分野創成利用審査委員会による審査の結果、採択されました。採択されたグループおよび新分野創成利用審査委員会からの審査結果を以下に示します。

### [有効期間]

2018B 期から 2020A 期までの 2 年間

### [採択された研究グループ]

代表責任者（所属）：藤原明比古（関西学院大学）

- ・分担責任者 1（所属、利用 BL<sup>\*</sup>）  
若林裕助（大阪大学、BL13XU）
- ・分担責任者 2（所属、利用 BL<sup>\*</sup>）

- 山添康介（東京大学、BL47XU）
- ・分担責任者 3（所属、利用 BL<sup>\*</sup>）  
土井教史（新日鐵住金、BL27SU）
- ・分担責任者 4（所属、利用 BL<sup>\*</sup>）  
中島淳一（日産化学工業、BL01B1、BL27SU および BL28B2）
- ・分担責任者 5（所属、利用 BL<sup>\*</sup>）  
朝倉博行（京都大学、BL01B1、BL14B2 および BL37XU）
- ・分担責任者 6（所属、利用 BL<sup>\*</sup>）  
高谷光（京都大学、BL02B1、BL20XU および BL40XU）

※利用 BL は、採択時（2018B 期）のものを示す。2019A 期以降は、実験計画の進捗状況に応じ変遷する。

### [プロジェクト名]

固液界面構造解明と可視化および溶媒溶質相関

### [審査コメント]

この提案は、基本的には先行する高尾グループの「新分野創成利用」研究「固液界面構造解明と可視化および構成物質間のダイナミクス」を引き継ぐものであって、その中の 2 つの課題である「メッキ」と「腐食」を取り上げ、主体メンバーはそのまま一部メンバーを入れ換えて高尾グループで開発された放射光利用技術を活用して実施しようとするものである。すなわち、今回の提案は放射光科学の新しい分野を提起しているのではなく、高尾グループで提案され研究された課題をより実用的な観点からさらに推進しようとするものと位置づけられる。

この研究提案計画で取り上げている「メッキ」と「腐食」というテーマは十分魅力ある課題であり、それぞれ、固液界面構造とその物性を解明し、実用の基本要素を明らかにしようとしている。実用と学理の

共同研究という観点からはよく考えられた研究である。それぞれの研究計画は具体性があり、主要な研究者の実績もあるので、それぞれの分野の成果は十分期待できる。個別の課題はよく練られていて、分担者の経験も深く、研究計画の実現性は十分ある。

しかしながら、「メッキ」と「腐食」の研究計画は個別に取り上げられていて、それらの間の連携に関する観点は見受けられず、それらの間の論理的つながりは提起されていない。これらの課題を取り上げることによって固液界面の科学に新しい概念を確立しようとする視点の分析がない。「固液界面」という現象の中から研究上まとめ易い課題を並列的に取り上げただけのように見える。また、申請書にはメゾスコピック構造という表現があるが、これは単に研究対象がマクロ構造とマイクロ構造の間にあるということを行っているに過ぎなく、メゾスコピック構造とその物性を主要な概念として取り上げ、その解明を新分野形成の基幹として位置づけようとする観点はほとんど見受けられない。

今回提案された「メッキ」と「腐食」の分野ではそれなりの成果が得るものと期待されるが、これらの研究を個別的ではなく深いところで統合しようとする論点やメゾスコピック系の物性という概念を形成しようとする方策を立てて、これらの研究によって「固液界面」という観点から新しい概念を形成し新しい研究分野を創成してほしい。これらの分野の間の繋がり概念の構築、および固液界面の新分野への発展については、既に行われているアドバイザーグループも参加した構成グループ間の研究会などで、さらなる議論を進めることが必要と考えられる。

以 上

## 第41回共同利用期間（2018A）において実施された SPring-8 利用研究課題

登録施設利用促進機関

公益財団法人高輝度光科学研究センター  
利用推進部

第41回共同利用期間（2018A）におけるSPring-8の共同利用は、平成30年4月から8月にかけて実施されました。この期間の放射光利用は、ビームライン1本あたり285シフト [1シフト=8時間] でした。

2018Aでは26本の共用ビームライン（共用施設）と、9本の理研ビームラインにおけるビームタイムの一部が共用に供されました。産業利用に特化した3本の共用ビームライン BL14B2、BL19B2 および BL46XU は、2018A 第1期（2018年4月～5月）、第2期（同年6月～7月前半）および第3期（同年7月後半～8月上旬）と、利用期を3期に分けて課題募集・選定が行われました。専用ビームライン（専用施設）については、2018A期の稼働数は前期より引き続き19本でした。

表1に、SPring-8 共用施設の2018A 課題種別の課題数と実施シフト数を示します。表2に、SPring-8 専用施設の2018A 実施課題数とシフト数を示します。表3に、2018AにSPring-8 共用施設で実施された利用研究課題の課題数とシフト数について実験責任者の所属機関分類および研究分野分類を示します。表4に、1997B-2018A 課題種別実施課題数の推移を示します。

表2 SPring-8 専用施設の2018A 実施課題数とシフト数

課題種	実施課題数合計	実施シフト数合計
専用ビームライン（成果非専有）	301	4384.875
専用ビームライン（成果専有）	22	47.688
合計	323	4432.563

表1 SPring-8 共用施設<sup>(注1)</sup>の2018A 課題種別の課題数と実施シフト数

課題種	応募課題数	採択課題数	課題採択率 (%)	採択課題の実施数	非応募課題 <sup>(注2)</sup> の実施数	実施課題数合計	実施シフト数合計
一般課題（成果非専有）	696	519	74.6	496	28	524	4423.25
一般課題（成果専有）	44	43	97.7	41		41	148
大学院生提案型課題 <sup>(注4)</sup>	77	51	66.2	50	3	53	433.25
時期指定課題	6	6	100	6		6	17.75
測定代行課題 <sup>(注3)</sup>	37	37	100	37		37	16.875
放射光施設横断産業利用課題	7	5	71.4	5		5	16.125
社会・文化利用課題 <sup>(注4)</sup>	14	14	100	14		14	92.125
成果公開優先利用課題	34	34	100	34		34	237.625
長期利用課題	16	10	62.5	9	4	13	252.375
重点パートナーユーザー課題	0	0	0	0	7	7	293.125
新分野創成利用課題（新分野創成を行おうとする研究グループによる課題）	(2018A 期は新規公募なし)				21	21	185.125
合計	931	719	77.2	692	63	755	6115.625

(注1) 理研ビームラインからの一部共用供出ビームタイムの利用を含む。

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

(注3) BL14B2、BL19B2、BL38B1、BL46XUで実施。

(注4) 大学院生提案型課題かつ社会・文化利用課題は、大学院生提案型課題に分類。

表3 2018AにSPring-8共用施設<sup>(注1)</sup>で実施された利用研究課題の所属機関分類および研究分野分類

機関分類	課題分類	課題数/ シフト数	研究分野							計	
			生命科学	医学応用	物質科学・ 材料科学	化学	地球・惑星 科学	環境科学	産業利用		その他 <sup>(注2)</sup>
大学 等 教育 機関	一般課題（成果非専有）	課題数	74	6	129	63	22	3	43	3	343
		シフト数	465.875	58.25	1083.875	438.375	275.125	19	262	30	2632.5
	一般課題（成果専有）	課題数				1					1
		シフト数				1					1
	大学院生提案型課題	課題数	2		20	7	3	1	13	2	48
		シフト数	9		173.625	50.375	32.125	6	93.875	15	380
	放射光施設横断産業利用課題	課題数							2		2
		シフト数							4.125		4.125
	社会・文化利用課題	課題数			1		2	1		6	10
		シフト数			3		11.875	9		32.75	56.625
	成果公開優先利用課題	課題数		1	7	8			4	1	21
		シフト数		6	37.75	49.5			17.25	6	116.5
	長期利用課題	課題数	2		2	1		2	1		8
シフト数		23.625		59.875	8.5		26.375	12		130.375	
重点パートナーユーザー課題	課題数			4		2				6	
	シフト数			160		89.375				249.375	
新分野創成利用課題	課題数			17						17	
	シフト数			152.25						152.25	
計	課題数	78	7	180	80	29	7	63	12	456	
	シフト数	498.5	64.25	1670.375	547.75	408.5	60.375	389.25	83.75	3722.75	
国 公 立 研 究 機 関 等	一般課題（成果非専有）	課題数	16	8	34	4	9	5	9	7	92
		シフト数	155.625	89.75	400.625	50.75	109.75	39.625	65	66.75	977.875
	一般課題（成果専有）	課題数	1								1
		シフト数	5								5
	時期指定課題	課題数			1						1
		シフト数			13						13
	測定代行課題	課題数							3		3
		シフト数							3.25		3.25
	放射光施設横断産業利用課題	課題数							3		3
		シフト数							12		12
	社会・文化利用課題	課題数					1			3	4
		シフト数					8.5			27	35.5
	成果公開優先利用課題	課題数	2		5				1		8
シフト数		35.875		41.375				6		83.25	
長期利用課題	課題数							1		1	
	シフト数							23.875		23.875	
計	課題数	19	8	40	4	10	5	17	10	113	
	シフト数	196.5	89.75	455	50.75	118.25	39.625	110.125	93.75	1153.75	
産 業 界	一般課題（成果非専有）	課題数			3				30	33	
		シフト数			30				215.375	245.375	
	一般課題（成果専有）	課題数	2		2	1			32	37	
		シフト数	10		5	1			103.25	119.25	
	時期指定課題	課題数	1						4	5	
		シフト数	0.25						4.5	4.75	
	測定代行課題	課題数							34	34	
		シフト数							13.625	13.625	
成果公開優先利用課題	課題数							5	5		
	シフト数							37.875	37.875		
新分野創成利用課題	課題数							4	4		
	シフト数							32.875	32.875		
計	課題数	3		5	1			109		118	
	シフト数	10.25		35	1			407.5		453.75	
海 外 機 関	一般課題（成果非専有）	課題数	19	3	22	7	3	1	1	56	
		シフト数	133.375	29.75	256.125	104.375	34.875	6	3	567.5	
	一般課題（成果専有）	課題数	1						1	2	
		シフト数	4.875						17.875	22.75	
	大学院生提案型課題	課題数			3		2			5	
		シフト数			38.375		14.875			53.25	
	長期利用課題	課題数	2	1					1	4	
		シフト数	50.5	17.625					30	98.125	
重点パートナーユーザー課題	課題数			1					1		
	シフト数			43.75					43.75		
計	課題数	22	4	26	7	5	1	3	68		
	シフト数	188.75	47.375	338.25	104.375	49.75	6	50.875	785.375		
課題数合計			122	19	251	92	44	13	192	755	
シフト数合計			894	201.375	2498.625	703.875	576.5	106	957.75	6115.625	

(注1) 理研ビームラインからの一部共用供出ビームタイムの利用を含む

(注2) 素粒子・原子核科学、考古学、ビームライン技術他

2018Aの延べ利用者数は、共用施設 5,009 人、専用施設 3,231 人でした。表 5 に、SPring-8 共用施設および専用施設利用実績の推移を示します。表 5 の値を利用シフト数合計と共に示したものが図 1 です。利用シフト数合計は、表 5 の「利用時間」に利用した共用・専用ビームラインの数（理研ビームラインの一部共用への供出分を含む。但し、理研ビームラインは共用供出割合で換算）を掛けた数値となっています。図 2 には、SPring-8 共用施設の利用研究課題の応募・採

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

表 4 SPring-8 1997B-2018A 課題種別実施課題数の推移

課題種	1997B~2010A	2010B	2011A	2011B	2012A	2012B	2013A	2013B	2014A	2014B	2015A	2015B	2016A	2016B	2017A	2017B	2018A	合計
一般課題 (成果非専有)	9465	408	379	384	430	516	440	384	444	611	457	476	489	459	502	570	524	16938
緊急課題	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35
一般課題 (成果専有)	417	53	36	72	38	51	34	55	34	55	36	37	42	47	35	48	41	1131
時期指定課題 (除く測定代行)	160	9	4	8	4	15	6	4	4	2	8	8	6	10	7	16	6	277
測定代行 (時期指定課題の一環)	98	38	31	37	35	48	49	47	41	54	37	46	32	48	29	46	37	753
長期利用課題	171	11	12	17	15	14	14	16	13	13	26	23	28	25	28	25	13	464
被災量子ビーム施設ユーザ ー支援課題			91	3														94
大学院生提案型課題 (旧名称：萌芽的研究支援 課題 [~2015B])	220	17	14	14	32	40	27	32	38	58	45	54	65	52	29	53	53	843
成果公開優先利用課題	163	51	41	44	33	33	18	27	24	30	18	28	35	37	39	52	34	707
重点タンパク 500 課題 (タンパク 3000)	489																	489
重点ナノテクノロジー支 援課題	811	48	37	32														928
重点産業トライアルユ ース課題	112																	112
SPring-8 戦略活用プロ グラム課題	332																	332
重点産業利用課題	725	100	86	89														1000
重点産業化促進課題					13	19	13	13										58
産業新分野支援課題									10	14	12	14	11	4	6	4		75
放射光施設横断産業利用 課題																	5	5
重点メディカルバイオ・ トライアルユース課題	57																	57
重点拡張メディカルバイ オ課題	51																	51
重点グリーン/ライフ・ イノベーション推進課題				21	29	27	24	24										125
スマート放射光活用イノ ベーション戦略推進課題									12	17	18	14						61
社会・文化利用課題											11	16	17	19	19	14	14	110
重点戦略課題 (12 条戦略課題)	55	2	2	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65
重点パワーユーザー課題	76	7	7	7	7	7	7	7	1	1								127
重点パートナーユーザー 課題									3	3	6	6	7	7	8	8	7	55
新分野創成利用課題												4	6	11	16	21	21	79
合計	13437	744	740	730	637	771	633	610	624	858	674	726	738	719	718	857	755	24971

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



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

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

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

<http://user.spring8.or.jp/uisearch/expreport/ja>  
 成果は、3年以内に、論文またはSPring-8/SACLA 利用研究成果集等で公開されます。

表 5 SPring-8 共用施設および専用施設利用実績の推移

	利用期間		利用時間	共用施設		専用施設	
				実施課題数	延べ利用者数	実施課題数	延べ利用者数
第 1 回	1997B	1997 年 10 月-1998 年 03 月	1,286	94	681	-	-
第 2 回	1998A	1998 年 04 月-1998 年 10 月	1,702	234	1,252	7	-
第 3 回	1999A	1998 年 11 月-1999 年 06 月	2,585	274	1,542	33	467
第 4 回	1999B	1999 年 09 月-1999 年 12 月	1,371	242	1,631	65	427
第 5 回	2000A	2000 年 02 月-2000 年 06 月	2,051	365	2,486	100	794
第 6 回	2000B	2000 年 10 月-2001 年 01 月	1,522	383	2,370	88	620
第 7 回	2001A	2001 年 02 月-2001 年 06 月	2,313	474	2,915	102	766
第 8 回	2001B	2001 年 09 月-2002 年 02 月	1,867	488	3,277	114	977
第 9 回	2002A	2002 年 02 月-2002 年 07 月	2,093	545	3,246	110	1,043
第 10 回	2002B	2002 年 09 月-2003 年 02 月	1,867	540	3,508	142	1,046
第 11 回	2003A	2003 年 02 月-2003 年 07 月	2,246	634	3,777	164	1,347
第 12 回	2003B	2003 年 09 月-2004 年 02 月	1,844	549	3,428	154	1,264
第 13 回	2004A	2004 年 02 月-2004 年 07 月	2,095	569	3,756	161	1,269
第 14 回	2004B	2004 年 09 月-2004 年 12 月	1,971	555	3,546	146	1,154
第 15 回	2005A	2005 年 04 月-2005 年 08 月	1,880	560	3,741	146	1,185
第 16 回	2005B	2005 年 09 月-2005 年 12 月	1,818	620	4,032	187	1,379
第 17 回	2006A	2006 年 03 月-2006 年 07 月	2,202	724	4,809	226	1,831
第 18 回	2006B	2006 年 09 月-2006 年 12 月	1,587	550	3,513	199	1,487
第 19 回	2007A	2007 年 03 月-2007 年 07 月	2,448	781	4,999	260	2,282
第 20 回	2007B	2007 年 09 月-2008 年 02 月	2,140	739	4,814	225	1,938
第 21 回	2008A	2008 年 04 月-2008 年 07 月	2,231	769	4,840	232	1,891
第 22 回	2008B	2008 年 10 月-2009 年 03 月	1,879	672	4,325	217	1,630
第 23 回	2009A	2009 年 04 月-2009 年 07 月	1,927	669	4,240	238	1,761
第 24 回	2009B	2009 年 10 月-2010 年 02 月	2,087	722	4,793	275	2,144
第 25 回	2010A	2010 年 04 月-2010 年 07 月	1,977	685	4,329	293	2,483
第 26 回	2010B	2010 年 10 月-2011 年 02 月	2,094	744	4,872	325	2,812
第 27 回	2011A	2011 年 04 月-2011 年 07 月	2,131	740	4,640	309	2,773
第 28 回	2011B	2011 年 10 月-2012 年 02 月	1,927	730	4,576	319	2,769
第 29 回	2012A	2012 年 04 月-2012 年 07 月	1,972	637	4,304	285	2,692
第 30 回	2012B	2012 年 10 月-2013 年 02 月	2,184	771	5,072	314	3,181
第 31 回	2013A	2013 年 04 月-2013 年 07 月	1,837	633	4,053	275	2,835
第 32 回	2013B	2013 年 10 月-2013 年 12 月	1,571	610	3,770	286	2,723
第 33 回	2014A	2014 年 04 月-2014 年 07 月	1,768	624	4,129	292	2,710
第 34 回	2014B	2014 年 10 月-2015 年 02 月	2,290	858	5,766	331	3,573
第 35 回	2015A	2015 年 04 月-2015 年 07 月	2,053	674	4,560	271	2,960
第 36 回	2015B	2015 年 09 月-2015 年 12 月	1,981	726	4,863	281	2,898
第 37 回	2016A	2016 年 04 月-2016 年 07 月	2,150	738	5,174	301	3,130
第 38 回	2016B	2016 年 09 月-2016 年 12 月	1,976	719	4,824	298	2,985
第 39 回	2017A	2017 年 04 月-2017 年 07 月	2,101	718	4,835	326	3,228
第 40 回	2017B	2017 年 10 月-2018 年 02 月	2,377	857	5,885	355	3,659
第 41 回	2018A	2018 年 04 月-2018 年 08 月	2,254	755	5,009	323	3,231
合 計			81,655	24,971	162,182	8,775	79,344

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

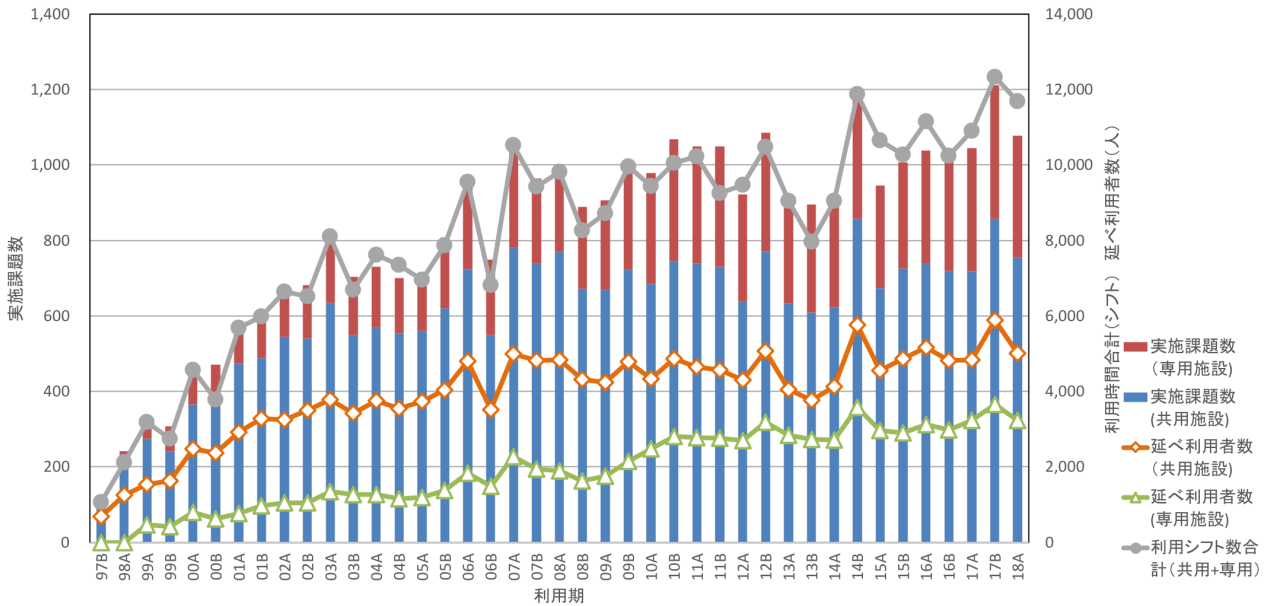
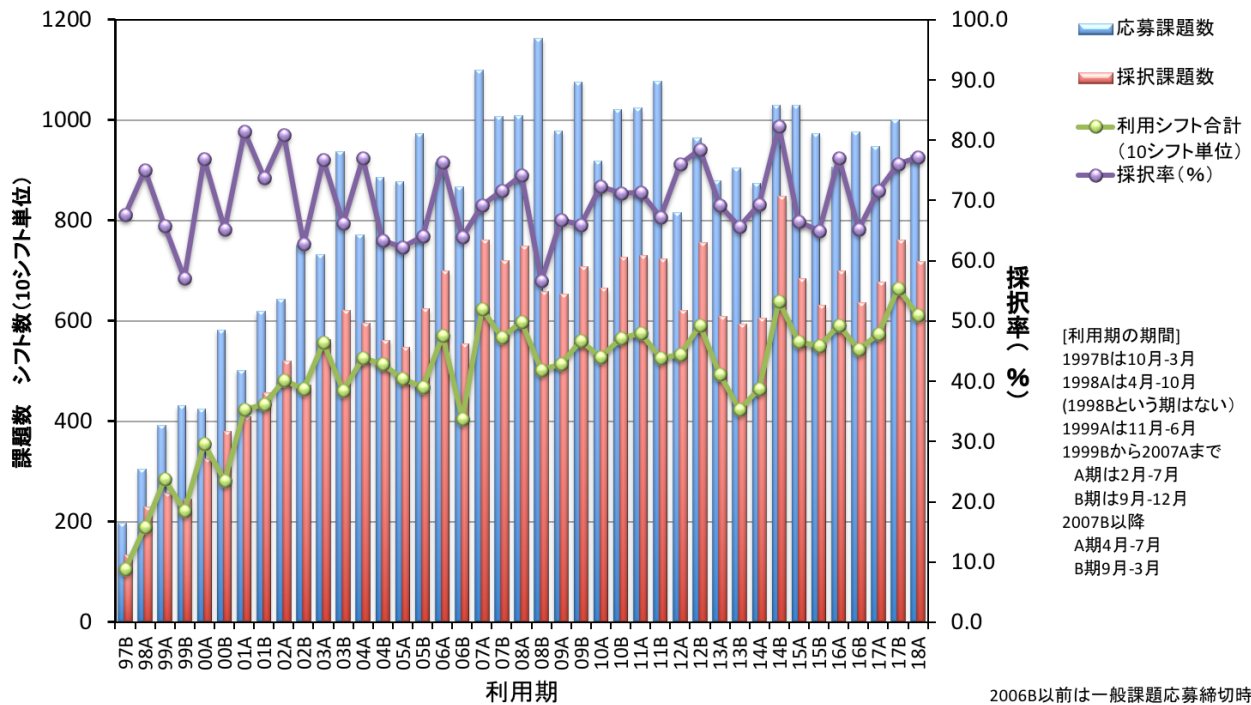


図1 SPring-8 共用施設および専用施設の利用実績の推移



2006B以前は一般課題応募締切時、  
2007A以降は期の終了時の値。

図2 SPring-8 共用施設の応募・採択課題数の推移実績

## 2015B 期 採択「新分野創成利用」における 研究グループの事後評価について

公益財団法人高輝度光科学研究センター  
利用推進部

「新分野創成利用」は、SPring-8 の利用研究成果創出を質的・量的に飛躍させるために、既存の研究分野の枠を超えた複合・融合領域等における未踏分野の開拓・創成およびそれに伴う利用の裾野を拡大することを目的として、2015B 期より運用しています。採択された研究グループは、代表責任者の裁量により有効期間（2 年間）内に各分担責任者が複数ビームラインで「新分野創成利用課題」を実施することも可能となり、またビームタイムも認められた範囲内で期ごとに任意に配分（但し審査あり）することができます。

「新分野創成利用」における研究グループの事後評価は、新分野創成利用審査委員会において、あらかじめ提出された新分野創成利用における研究グループ終了報告書に基づいた代表責任者による発表と質疑応答により行われます。事後評価の着目点は、研究グループとしての、1) 目標達成度、2) 研究成果（①科学技術的価値、新しい研究領域・手法の開拓、産業基盤技術の向上、②科学技術的波及効果、③情報発信）、3) 「新分野創成利用」の趣旨との合致性（①新分野が創生され今後もその分野の発展が期待できるか、②実施にあたってマネジメントは妥当であったか）です。今回は、2015B 期に採択された研究グループ（有効期間：2015B～2017A 期）について、事後評価（2018 年 6 月 21 日開催）を行いました。

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

プロジェクト名	ナノスケール実スピンドバイス開発に向けた新しい放射光利用
代表責任者(所属)	大野 英男 (東北大学)
分担責任者(所属)	壬生 攻 (名古屋工業大学) 千葉 大地 (東京大学)

課題番号	2015B0901 ほか
ビームライン	BL08W、BL09XU、BL13XU、BL17SU、BL25SU、BL39XU、BL47XU
利用期間/配分総シフト	2015B～2017A/339シフト (BL08W：60シフト、BL09XU：36シフト、BL13XU：60シフト、BL17SU：18シフト、BL25SU：72シフト、BL39XU：75シフト、BL47XU：18シフト)

### 〔評価結果〕

#### 1) 目標達成度

スピントロニクスを利用した実デバイスの開発の進展のために、異なる研究グループによる多様な放射光利用成果の情報交換を通じて、スピントロニクスの諸現象を包括的に解析するという当初の目標は一応達成された。

#### 2) 研究成果

①科学技術的価値、新しい研究領域・手法の開拓、産業基盤技術の向上  
計測手法には新規性はないが、放射光利用の諸手法を体系化した点が評価出来る。  
産業基盤技術としては、実デバイスを意識した「構造と機能の可視化」の取り組みが挙げられるが、今後の課題であろう。

#### ②科学技術的波及効果

核共鳴散乱、コンプトン散乱などを用いて反強磁性体の磁気異方性の評価が行われたことは特筆すべき成果で、今後スキルミオンなどトポロジカル磁気現象への適用も期待される。また、スピン軌道トルク (SOT) の研究成果も注目される。また、電界印加によるスピン磁化反転の微視的解明の成果は、今後マルチフェロイック材料への波及が期待される。

③情報発信

グループ内部の情報共有は適切に行われたが、論文以外の方法での外部への情報発信は、もう少し積極的にやっても良いのではないかと。

3) 「新分野創成利用」の趣旨との合致性

①新分野が創生され、今後の発展が期待できるか異なるグループ間による様々な放射光利用を体系的、包括的に行ったところは、「新しい利用」として評価されるが、異なる測定を組み合わせたことによるシナジー効果は、現段階では明確には見られておらず、本プロジェクトの継続提案である小野グループに期待したい。

②実施に当たってのマネージメント

新規課題に向け、途中段階でチームを拡大再編成するなど積極的なマネージメントが行われたと判断する。また、研究会開催などによるチーム間の情報共有を図る取り組みが行われた点も評価されるが、異なる計測手段の組み合わせによるシナジー効果をめざす積極的なアプローチは、今後の課題であろう。

総合評価

本プロジェクトを通じて、広範なスピントロニクス分野の研究者を巻き込み、様々な放射光計測を積極的に適用し包括的かつ体系的に現象の解明を行うとともに、放射光計測を通じて電圧誘起磁化反転、スピン軌道トルク、反強磁性体磁気異方性制御などについて多くの新しい知見を蓄積した点、高く評価する。異なる測定手段の組み合わせによるシナジー効果および実デバイスへの適用は道半ばであり、継続提案である小野グループへ、適切な引き継ぎが行われることを強く期待する。

[成果リスト]

(査読付き論文)

[ 1 ] SPring-8 publication ID = 31926

S. Li *et al.*: “Large Enhancement of Bulk Spin Polarization by Suppressing  $\text{Co}_{\text{a}}$  Anti-Sites in  $\text{Co}_{\text{b}}\text{Mn}(\text{Ge}_{\text{c}}\text{Ga}_{\text{c}})$  Heusler Alloy Thin Film” *Applied Physics Letters* **108** (2016) 122404.

[ 2 ] SPring-8 publication ID = 32019

M. Yamazoe *et al.*: “Spin/Orbital and Magnetic Quantum

Number Selective Magnetization Measurements for  $\text{CoFeB}/\text{MgO}$  Multilayer Films” *Journal of Physics: Condensed Matter* **28** (2016) 436001.

[ 3 ] SPring-8 publication ID = 33235

T. Kojima *et al.*: “Growth of  $\text{L1}_0\text{-FeNi}$  Thin Films on  $\text{Cu}(001)$  Single Crystal Substrates using Oxygen and Gold Surfactants” *Thin Solid Films* **603** (2016) 348-352.

[ 4 ] SPring-8 publication ID = 33354

T. Koyama *et al.*: “Magnetization Switching by Spin-Orbit Torque in Pt with Proximity-Induced Magnetic Moment” *Journal of Applied Physics* **121** (2017) 123903.

[ 5 ] SPring-8 publication ID = 34512

K. Kumar *et al.*: “Temperature Dependent Magnetic Compton Profiles and First-Principles Strategies of Quaternary Half-Heusler Alloy  $\text{Co}_x\text{Cu}_{1-x}\text{MnSb}$  ( $0 \leq x \leq 0.8$ )” *Journal of Physics: Condensed Matter* **29** (2017) 425805.

[ 6 ] SPring-8 publication ID = 34576

Y. Hibino *et al.*: “Enhancement of the Spin-Orbit Torque in a Pt/Co System with a Naturally Oxidized Co Layer” *Applied Physics Letters* **111** (2017) 132404.

[ 7 ] SPring-8 publication ID = 34772

N. Kikuchi *et al.*: “Time- and Spatially-Resolved Hard X-ray MCD Measurement on a Co/Pt Multilayer Dot Excited by Pulsed RF Field” *IEEE Transactions on Magnetics* **54** (2018) 6100106.

[ 8 ] SPring-8 publication ID = 35172

K. Mibu *et al.*: “Thickness Dependence of Morin Transition Temperature in Iridium-Doped Hematite Layers Studied through Nuclear Resonant Scattering” *Hyperfine Interactions* **238** (2017) 92.

[ 9 ] SPring-8 publication ID = 35465

M. Suzuki *et al.*: “Three-Dimensional Visualization of Magnetic Domain Structure with Strong Uniaxial Anisotropy via Scanning Hard X-ray Microtomography” *Applied Physics Express* **11** (2018) 036601.

[10] SPring-8 publication ID = 35775

K. Takanashi *et al.*: “Fabrication and Characterization of  $\text{L1}_0$ -Ordered FeNi Thin Films” *Journal of Physics D: Applied Physics* **50** (2017) 483002.

- [11] SPring-8 publication ID = 35977  
K. Yamada *et al.*: “Microscopic Investigation into the Electric Field Effect on Proximity-Induced Magnetism in Pt” *Physical Review Letters* **120** (2018) 157203.
- [12] SPring-8 publication ID = 35993  
S. Goto *et al.*: “Synthesis of Single-Phase  $L1_0$ -FeNi Magnet Powder by Nitrogen Insertion and Topotactic Extraction” *Scientific Reports* **7** (2017) 13216.
- [13] SPring-8 publication ID = 35994  
T. Tashiro *et al.*: “Fabrication of  $L1_0$ -FeNi Phase by Sputtering with Rapid Thermal Annealing” *Journal of Alloys and Compounds* **750** (2018) 164-170.
- [14] SPring-8 publication ID = 36278  
S. Li *et al.*: “Enhancement of current-perpendicular-to-plane giant magnetoresistive outputs by improving B2-order in polycrystalline  $\text{Co}(\text{Mn}_x\text{Fe}_y)\text{Ge}$  Heusler alloy films with the insertion of amorphous CoFeBTa underlayer” *Acta Materialia* **142** (2018) 49-57.

2015A 期 採択長期利用課題の事後評価について - 2 -

公益財団法人高輝度光科学研究センター  
利用推進部

2015A 期に採択された長期利用課題について、2017B 期に 3 年間の実施期間が終了したことを受け、第 63 回 SPring-8 利用研究課題審査委員会長期利用分科会 (2018 年 6 月 29 日開催) において、事後評価が行われました。

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

なお、2015A 期に採択された長期利用課題 7 課題のうち 3 課題の評価結果は、「SPring-8/SACLA 利用者情報」Vol.23 No.3 (2018 年 8 月号) に掲載済みです。また残り 3 課題の評価結果については次号以降に掲載する予定です。

課題名	スピントロニクスデバイスの外場誘起スピン秩序現象の可視化
実験責任者(所属)	小野 輝男 (京都大学)
採択時課題番号	2015A0117
ビームライン	BL25SU、BL39XU
利用期間/配分総シフト	2015A~2017B/194 シフト (BL25SU: 80 シフト、BL39XU: 114 シフト)

[評価結果]

本課題は、外場誘起スピン秩序現象を電子状態の観点から解明することを目標として、外場引加条件下におけるその場観察手法を開発し、それを用いて、電圧誘起磁性の元素・界面選択的観測およびスピン流に起因するスピン蓄積現象の可視化を目指す課題である。手法開発では、外場印加下における超高精度磁気分光計測技術の開発が計画通り実施され、複数の系への温度依存も含めた適用からその有用性を確認したことは高く評価される。本実験手法は汎用性があるため波

及効果が期待される。研究面では、スピン流に起因するスピン蓄積現象の可視化については微小シグナルの測定限界という実験上の問題により成果は出なかったものの、外場印加下における XMCD および XAS の測定から Pt/Co の Pt に誘起された磁性の電界効果の観測に成功し磁性誘起の機構をミクロスコピックな立場で明らかにし、またジャロジンスキー守谷相互作用と電子分布の相関を明らかにするなどこれまでにない研究成果が得られている。これらの成果は、高インパクト論文を含む複数の論文として出版されており、情報発信も適切に行われていると評価できる。中間審査でのコメントについても、それを考慮して研究が進められていると理解できた。

SPring-8 の特徴であるナノビームを生かした微小領域の選択的測定などの研究が進まなかった点は残念であるが、総合的には当初の目標は達成されており長期利用課題として評価できる。今後は SPring-8 の XMCD の特徴をフル活用した研究が進んでいくことを期待する。

[成果リスト]  
(査読付き論文)

- [ 1 ] SPring-8 publication ID = 33751  
J. Okabayashi *et al.*: “Induced Perpendicular Magnetization in a Cu Layer Inserted between Co and Pt Layers Revealed by X-ray Magnetic Circular Dichroism” *Scientific Reports* **7** (2017) 46132.
- [ 2 ] SPring-8 publication ID = 33961  
S. Kim *et al.*: “Contributions of Co and Fe Orbitals to Perpendicular Magnetic Anisotropy of MgO/CoFeB Bilayers with Ta, W, IrMn, and Ti Underlayers” *Applied Physics Express* **10** (2017) 073006.
- [ 3 ] SPring-8 publication ID = 35977  
K. Yamada *et al.*: “Microscopic Investigation into the

Electric Field Effect on Proximity-Induced Magnetism  
in Pt” *Physical Review Letters* **120** (2018) 157203.

[ 4 ] SPring-8 publication ID = 36238

S. Kim *et al.*: “Correlation of the Dzyaloshinskii-Moriya  
Interaction with Heisenberg Exchange and Orbital  
Asphericity” *Nature Communications* **9** (2018) 1648.

## 2016A 期 採択長期利用課題の事後評価について - 2 -

公益財団法人高輝度光科学研究センター  
利用推進部

2016A 期に採択された長期利用課題について、2017B 期に2年間の実施期間が終了したことを受け、SPring-8 利用研究課題審査委員会長期利用分科会による事後評価が行われました。

事後評価は、長期利用分科会が実験責任者に対しヒアリングを行った後、評価を行うという形式で実施し、SPring-8 利用研究課題審査委員会で評価結果を取りまとめますが、同一研究テーマの課題が2018A 期からの長期利用課題として新たに申請されたため、その面接審査と同時に最終期(2017B 期)終了前に当該課題のヒアリングを第62 回長期利用分科会(2017 年12 月12 日および15 日開催)において行いました。その後、当該課題の最終期(2017B 期)が終了し、実験責任者より改めて提出された、全期間の研究結果をまとめた最終版の「長期利用課題終了報告書」およびヒアリングの結果を踏まえ、長期利用分科会による最終的な評価結果がとりまとめられました。

以下に評価を受けた課題の評価結果を示します。研究内容については本誌の「最近の研究から」に実験責任者による紹介記事を掲載しています。

なお、2016A 期に採択された長期利用課題4 課題のうち2 課題の評価結果は、「SPring-8/SACLA 利用者情報」Vol.23 No.3 (2018 年8 月号)に掲載済みです。また残り1 課題の評価結果については次号以降に掲載する予定です。

課題名	P 型 ATPase の結晶構造解析
実験責任者(所属)	豊島 近 (東京大学)
採択時課題番号	2016A0133
ビームライン	BL41XU
利用期間/配分総シフト	2016A~2017B/75 シフト

### [評価結果]

本課題では、イオンを細胞内外の濃度勾配に逆らって輸送するイオンポンプ膜タンパク質について、その

作動機構を複数の反応中間体の結晶構造から明らかにすることを目的として実施された。対象とするタンパク質分子は P 型 ATPase として、Ca<sup>2+</sup>-ATPase および Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>-ATPase であり、いずれも回折能が低い結晶であることから、SPring-8 の高輝度光が必須である。また、ポンプ作動における膜脂質の動きを解明するために、その可視化に関する技術開発を行った。

Ca<sup>2+</sup>-ATPase では、最も解析が進んでいる骨格筋型 (SERCA1a) について試料調製法を見直し、高純度精製標品を大量に調製することに成功した。それを活用して、新たに4 種類の間mediate構造を解析し、Ca イオン結合と ATP 結合の順序の異なる二経路での構造変化も解明された。その結果、段階的な Ca 結合の直接的な証明となるデータが得られている。さらに、心筋型 (SERCA2a) および普遍型 (SERCA2b) についても予備的な構造を得ることに成功した。医学的にも重要な心筋型については調節タンパク質である Phospholamban との複合体の解析にも成功した。

Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>-ATPase は、心不全薬ジギタリスの標的分子である医学的にも重要な蛋白質であり、より毒性の少ない治療に適した薬剤開発のためにも分子機構の解明が待たれている。Na イオンの結合型構造は本課題で新たに解析された。また、強心ステロイド剤7 種類との複合体解析を行い、創薬のための基本情報が得られている。さらに、ポンプをチャンネル化してしまう毒物との複合体解析も途上ながら進んでいる。

結晶中の脂質二重膜の可視化は、界面活性剤ではなく脂質に埋まったタンパク質を結晶中で実現している独自の結晶化法に基づく技術開発である。申請段階でも初期的な成果が得られていたが、本課題により明瞭に膜タンパク質の動きに伴う細胞膜の動態が観測され、今年度に論文発表された。また、ビームラインスタッフと連携して、低角反射の測定を実現し、ビームラインの高性能化にも貢献した。



以上のように、申請段階で計画されていた課題について、期間内で取り組む重点をシフトさせつつ、最終的には十分な成果を挙げた。一方、これから論文化される成果も多く、さらなる情報発信をお願いしたい。

[成果リスト]

(査読付き論文)

[1] SPring-8 publication ID = 34851

Y. Norimatsu *et al.*: “Protein-Phospholipid Interplay Revealed with Crystals of a Calcium Pump” *Nature* **545** (2017) 193-198.

## 2018B 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 14 期目に当たる 2018B 期（2018 年 10 月～2019 年 3 月）の利用研究課題応募 94 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 56 課題を採択しました。

### 1. 募集、審査及び採択等の日程

2018B 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。

(2018 年)

4 月 27 日 ホームページで募集案内公開

6 月 8 日 応募締切

～この間、審査基準に即した各課題の個別審査を実施～

7 月 30 日 第 15 回 SACLA PRC（総合審査）

8 月 8 日 第 17 回 SACLA 選定委員会（審査結果の意見聴取）

8 月 15 日 JASRI として採否決定、結果通知

10 月 9 日 2018B 期利用開始

### 2. 応募、採択及びビームタイム配分状況

2018B 期の応募課題数は 94、採択課題数は 56 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 56 課題に対し、ビームタイムは計 265 シフト（1 シフト＝12 時間）が配分されました。配分シフト数を含む採択 56 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 > 2018B

[http://sacla.xfel.jp/wp-content/uploads/sacla\\_approved\\_proposal\\_2018b\\_j.pdf](http://sacla.xfel.jp/wp-content/uploads/sacla_approved_proposal_2018b_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			8	4	3	2	1	1	12	7	60%
BL2/BL3	3	3	20	15	12	10	47	21	82	49	
合計	3	3	28	19	15	12	48	22	94	56	

表 2

(単位：シフト数)

課題種	A	B	C	C/A	C/B
	応募課題 (94 課題) の全要求シフト数	採択課題 (56 課題) の全要求シフト数	採択課題 (56 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)	568.6	342.6	265	47%	77%
一般課題 (成果専有)	-	-	-	-	-
合計	568.6	342.6	265	47%	77%

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 期より導入しました。当該課題は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

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

## 2018A 期において実施された SACLA 利用研究課題（共用課題） について

登録施設利用促進機関

公益財団法人高輝度光科学研究センター  
利用推進部

2012年3月より供用運転が開始された SACLA では、第13回目の利用期である2018A期の利用研究課題（共用課題）が、2018年3月6日から2018年8月6日にかけて実施されました。この期間において、ビームライン BL1、BL2 または BL3 にて計55の利用研究課題が実施され、ビームタイムは計257.2シフト（1シフト=12時間）が利用されました。

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

なお、これらのほか、同ビームラインにおいて JASRI スタッフによるインハウス課題が計3課題実施され、ビームタイムは計16シフトが利用されました。

実施課題の課題名は、以下の Web サイトに掲載しています。

### ◆ SACLA User Information

> SACLA 利用案内 > 採択課題/実施課題

> 実施課題一覧 > 2018A

[http://sacla.xfel.jp/wp-content/uploads/sacla\\_performed\\_proposal\\_2018a\\_j.pdf](http://sacla.xfel.jp/wp-content/uploads/sacla_performed_proposal_2018a_j.pdf)

※ 2018A 期の実施課題は、2018年10月19日に公開。

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

### ◆ SACLA User Information

> 成果等検索 > 利用課題実験報告書検索

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

※ 2018A 期の報告書は、2018年10月19日に公開。

成果は、課題実施期終了後3年以内に、査読付き原著論文等で公開されます。

公益財団法人

高輝度光科学研究センター 利用推進部

TEL：0791-58-0961

e-mail：sacla.jasri@spring8.or.jp

表1 2018A 期 SACLA 利用研究実施課題

課題種	産業界		大学等教育機関		国立試験研究機関等		海外機関		合計	
	実施課題数	実施シフト数	実施課題数	実施シフト数	実施課題数	実施シフト数	実施課題数	実施シフト数	実施課題数	実施シフト数
一般課題	4	17	17	74	15	85	19	81.2	55	257.2
(成果非専有利用)										
(成果専有利用)										
時期指定課題（成果専有利用）										
合計	4	17	17	74	15	85	19	81.2	55	257.2

○実施課題を実験責任者の所属（産学官 海外）で区分。

○延べ来所者数は計643人。

## Spring-8 運転・利用状況

国立研究開発法人理化学研究所  
放射光科学研究センター

### ◎平成 30 年 6～8 月の運転実績

Spring-8 は 6 月 4 日から 7 月 6 日までセベラルバンチ運転で第 3 サイクルの運転を行い、7 月 9 日から 8 月 7 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 3～4 サイクルでは SR 六極電磁石電源 6 チョッパーモジュール電流異常によるビームアボート等があったが、全体としては順調な運転であった。総放射光利用運転時間（ユーザータイム）内での故障等による停止時間（down time）は、第 3 サイクルは約 0.8%、第 4 サイクルは約 1.9%であった。

### 1. 装置運転関係

#### (1) 運転期間

第 3 サイクル (6/4 (月) ～7/6 (金))  
第 4 サイクル (7/9 (月) ～8/7 (火))

#### (2) 運転時間の内訳

第 3 サイクル  
運転時間総計 約 768 時間  
①装置の調整およびマシンスタディ等 約 48 時間  
②放射光利用運転時間 約 713 時間  
③故障等による down time 約 6 時間  
④フィリング変更時間 約 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 0.8%

第 4 サイクル  
運転時間総計 約 696 時間  
①装置の調整およびマシンスタディ等 約 120 時間  
②放射光利用運転時間 約 564 時間  
③故障等による down time 約 11 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 1.9%

### (3) 運転スペック等

第 3 サイクル（セベラルバンチ運転）

- ・ 11 bunch train × 29 (C)
- ・ 11 bunch train × 29 (C)
- ・ 4 bunch train × 84 (B)
- ・ 11/29-filling + 1 bunch (H)

第 4 サイクル（セベラルバンチ運転）

- ・ 11/29-filling + 1 bunch (H)
- ・ 203 bunches (A)
- ・ 2/29-filling + 26 bunches (E)
- ・ 1/7-filling + 5 bunches (D)

- ・ 入射は電流値優先モード（2～3 分毎（マルチバンチ時）もしくは 20～40 秒毎（セベラルバンチ時）の Top-Up モード）で実施。
- ・ 蓄積電流 8 GeV、～100 mA

#### (4) 主な down time の原因

- ・ 緊急地震速報発報による非常停止
- ・ SR 六極電磁石電源 6 チョッパーモジュール電流異常によるアボート

### 2. 利用関係（JASRI 利用推進部 集計）

#### (1) 放射光利用実験期間

第 3 サイクル (6/5 (火) ～7/6 (金))  
第 4 サイクル (7/12 (木) ～8/6 (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 19 本  
理研ビームライン 12 本

第3サイクル（暫定値）

共同利用研究実験数	330 件
共同利用研究者数	1,550 名
専用施設利用研究実験数	248 件
専用施設利用研究者数	1,043 名

第4サイクル（暫定値）

共同利用研究実験数	313 件
共同利用研究者数	1,386 名
専用施設利用研究実験数	226 件
専用施設利用研究者数	932 名

◎平成 30 年 8～9 月の運転・利用実績

SPring-8 は 8 月 8 日から 9 月 26 日まで夏期点検調整期間とし、加速器やビームラインに係わる機器の改造・点検作業、電気・冷却設備等の機器の点検作業を行った。

◎今後の予定

SPring-8 は 9 月 27 日から 11 月 9 日までセベラルバンチ運転で第 5 サイクルの運転を行い、停止期間をはさみ、11 月 12 日から 12 月 21 日までセベラルバンチ運転で第 6 サイクルの運転を予定している。第 5～6 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 (2018年9月30日現在)

SPring-8

Beamline Name		Public Use Since	~2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Total	
Public Beamlines	BL01B1	XAFS	1997.10	298	59	58	75	65	74	92	75	83	86	37	1002
		Technical Journal					1								1
	BL02B1	Single Crystal Structure Analysis	1997.10	108	13	19	12	18	36	42	36	41	34	20	379
	BL02B2	Powder Diffraction	1999.9	373	65	67	82	59	96	71	80	93	75	56	1117
	BL04B1	High Temperature and High Pressure Research	1997.10	132	21	21	22	16	20	19	16	16	14	11	308
	BL04B2	High Energy X-ray Diffraction	1999.9	140	26	28	23	28	28	33	37	43	28	22	436
		Technical Journal						1							1
	BL08W	High Energy Inelastic Scattering	1997.10	104	12	12	20	19	15	13	19	14	16	8	252
	BL09XU	Nuclear Resonant Scattering	1997.10	92	9	9	13	13	15	15	18	16	13	14	227
	BL10XU	High Pressure Research	1997.10	236	24	35	32	28	21	30	29	29	28	15	507
	BL13XU	Surface and Interface Structure	2001.9	105	16	18	27	6	16	21	24	36	26	25	320
	BL14B2	Engineering Science Research II	2007.9	2	16	25	32	36	53	53	61	50	56	44	428
		Technical Journal						1	1	1					3
	BL19B2	Engineering Science Research I	2001.11	105	20	18	35	53	58	62	63	62	62	48	586
		Technical Journal						1	1	1	2				7
	BL20B2	Medical and Imaging I	1999.9	150	15	17	24	35	28	25	35	25	26	15	395
	BL20XU	Medical and Imaging II	2001.9	78	24	36	27	21	40	44	43	37	26	12	388
	BL25SU	Soft X-ray Spectroscopy of Solid	1998.4	240	21	21	25	22	24	31	20	19	24	12	459
		Technical Journal						2							2
	BL27SU	Soft X-ray Photochemistry	1998.5	243	15	24	31	18	41	35	25	35	25	15	507
	BL28B2	White Beam X-ray Diffraction	1999.9	72	14	9	15	10	21	18	21	19	25	12	236
	BL35XU	High Resolution Inelastic Scattering	2001.9	61	5	9	12	8	14	13	16	15	15	10	178
	BL37XU	Trace Element Analysis	2002.11	62	12	22	23	13	32	28	34	27	28	14	295
		Technical Journal								1					1
	BL38B1	Structural Biology III	2000.10	228	53	48	48	60	58	48	65	60	35	22	725
	BL39XU	Magnetic Materials	1997.10	130	28	15	19	21	20	25	19	24	29	13	343
	BL40B2	Structural Biology II	1999.9	260	31	44	42	43	70	54	54	59	51	40	748
		Technical Journal							1		1				2
	BL40XU	High Flux	2000.4	65	13	11	13	18	37	21	31	40	26	20	295
	BL41XU	Structural Biology I	1997.10	446	78	66	66	53	65	55	60	66	50	29	1034
BL43IR	Infrared Materials Science	2000.4	53	10	6	8	11	8	11	17	16	21	9	170	
BL46XU	Engineering Science Research III	2000.11	66	14	20	22	15	37	28	52	49	39	21	363	
	Technical Journal										1	1		2	
BL47XU	HXPES・MCT	1997.10	173	27	27	31	17	36	36	31	28	32	23	461	
	Technical Journal											1		1	
Public Use at Other Beamlines	BL11XU	QST Quantum Dynamics I	1999.3	13											13
	BL14B1	QST Quantum Dynamics II	1998.4	38	3	3	2	1		1					48
	BL15XU	WEBRAM	2002.9	29	2	1	1	1		1					35
	BL17SU	RIKEN Coherent Soft X-ray Spectroscopy	2005.9	5	2	1	7	6	11	12	5	2	3	4	58
	BL19LXU	RIKEN SR Physics	2002.9	5						1	1	2	2	2	13
	BL22XU	JAEA Actinide Science I	2004.9	5					1						6
	BL23SU	JAEA Actinide Science II	1998.6	42	2	2		2	3	2					53
	BL26B1	RIKEN Structural Genomics I	2009.4				3	8	2	9	5	14	15	13	69
	BL26B2	RIKEN Structural Genomics II	2009.4			1		5	3	5	7	10	8	8	47
		Technical Journal										1			1
	BL29XU	RIKEN Coherent X-ray Optics	2002.9	12	1					1				1	15
	BL32XU	RIKEN Targeted Proteins	2010.10				5	5	8	9	16	8	13	10	74
BL44B2	RIKEN Materials Science	1998.5	14								6	3	1	24	
BL45XU	RIKEN Structural Biology I	1997.10	65		8	9	6	7	9	13	20	9	5	162	
Subtotal			4250	662	701	806	740	998	973	1028	1064	943	611	12776	

Beamline Name			Public Use Since	~2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Total	
Contract Beamlines	BL03XU	Advanced Softmaterials	2009.11			1	5	8	24	21	14	17	18	7	115	
		Technical Journal						35	42	39	36	33	30		215	
	BL07LSU	The University-of-Tokyo Outstation Beamline for Materials Science	2009.11			1	5	6	10	13	12	19	18	14	98	
		Technical Journal									1				1	
	BL08B2	Hyogo Prefecture BM	2005.9			1	1	3	7	9	5	5	9	1	41	
		Technical Journal						7	1	18	7	4	4	1	42	
	BL11XU	QST Quantum Dynamics I		60	7	9	6	13	16	14	8	19	19	10	181	
	BL12B2	NSRRC BM	2001.9	96	7	28	13	25	22	21	27	29	26	12	306	
	BL12XU	NSRRC ID	2003.2	26	5	15	10	14	11	16	19	17	23	11	167	
	BL14B1	QST Quantum Dynamics II		77	16	18	16	11	10	15	19	17	22	13	234	
	BL15XU	WEBRAM	2001.4	83	30	35	51	41	61	57	48	60	54	33	553	
	BL16B2	Sunbeam BM	1999.9	31	6	8	6	4	3	6	4	10	8	4	90	
		Technical Journal		2					18	15	14	8	15	21	11	104
	BL16XU	Sunbeam ID	1999.9	26	6	6	2	2	2	3	4	11	8	5	75	
		Technical Journal							20	19	14	14	21	18	8	114
	BL22XU	JAEA Actinide Science I		38	8	15	10	10	14	19	15	14	15	20	178	
	BL23SU	JAEA Actinide Science II		115	23	15	22	20	17	28	19	25	16	18	318	
	BL24XU	Hyogo Prefecture ID	1998.10	118	8	5	6	7	8	5	4	5	5	4	175	
		Technical Journal							11	3	10	3	1	4	32	
	BL28XU	RISING II	2012.4							3	9	5	5	4	2	28
BL31LEP	Laser-Electron Photon II	2013.10								1		3	2		6	
BL32B2	Pharmaceutical Industry (2002.9 - 2012.3)		21	1	2	3					1				28	
BL33LEP	Laser-Electron Photon	2000.10	30	5	8	4	4	4	4	2	2	3	2	68		
BL33XU	Toyota	2009.5				3	5	2	8	4	10	16	6	54		
	Technical Journal					2	5	4	5	3	4	1		24		
BL36XU	Catalytic Reaction Dynamics for Fuel Cell	2013.1							1	7	6	7	12	8	41	
BL44XU	Macromolecular Assemblies	2000.2	144	30	21	49	59	59	50	64	52	57	24	609		
Subtotal				865	152	188	212	232	274	306	280	327	335	194	3365	

RIKEN Beamlines	BL17SU	Coherent Soft X-ray Spectroscopy		38	13	12	10	13	3	7	5	8	3		112
	BL19LXU	SR Physics		59	11	7	9	11	12	13	9	5	3	1	140
	BL26B1	Structural Genomics I		123	13	15	7	8	7	4	5	4	4	1	191
	BL26B2	Structural Genomics II		45	6	19	18	19	13	4	3	7	10	2	146
	BL29XU	Coherent X-ray Optics		131	9	16	8	16	15	9	10	14	6	6	240
	BL32XU	Targeted Proteins					2	9	8	8	7	13	3	2	52
	BL43LXU	Quantum NanoDynamics							1		1	1			3
	BL44B2	Materials Science		182	10	9	12	11	14	13	17	15	4		287
	BL45XU	Structural Biology I		164	9	8	9	9	11	9	13	13	4		249
	Subtotal				742	71	86	75	96	84	67	70	80	37	12

SACLA

Public Beamlines	Beamline Name		Public Use Since	~2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Total
	BL1	SXFEL	2016.3											4	4
	BL2/BL3	XFEL2/XFEL1	2012.3					1	13	27	37	46	37	23	184

Hardware / Software R & D	379	32	39	37	56	67	12	33	43	53	23	774
---------------------------	-----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

NET Sum Total	5310	806	885	959	928	1192	1092	1176	1251	1131	676	15406
Technical Journal	2			2	89	80	97	68	74	70	18	500

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 (<http://user.spring8.or.jp/?p=748&lang=ja>) に 2018 年 9 月 30 日までに登録されたデータに基づいており、今後変更される可能性があります。

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



成果発表出版形式別登録数 (2018年9月30日現在)

SPring-8

Beamline Name		Public Use Since	Refereed Papers	Proceedings	Other Publications	Total	
Public Beamlines	BL01B1	XAFS	1997.10	1003	66	86	1155
	BL02B1	Single Crystal Structure Analysis	1997.10	379	14	31	424
	BL02B2	Powder Diffraction	1999.9	1117	40	83	1240
	BL04B1	High Temperature and High Pressure Research	1997.10	308	7	48	363
	BL04B2	High Energy X-ray Diffraction	1999.9	437	13	51	501
	BL08W	High Energy Inelastic Scattering	1997.10	252	10	44	306
	BL09XU	Nuclear Resonant Scattering	1997.10	227	15	33	275
	BL10XU	High Pressure Research	1997.10	507	22	61	590
	BL13XU	Surface and Interface Structure	2001.9	320	18	35	373
	BL14B2	Engineering Science Research II	2007.9	431	10	33	474
	BL19B2	Engineering Science Research I	2001.11	593	45	89	727
	BL20B2	Medical and Imaging I	1999.9	395	88	87	570
	BL20XU	Medical and Imaging II	2001.9	388	104	120	612
	BL25SU	Soft X-ray Spectroscopy of Solid	1998.4	461	15	60	536
	BL27SU	Soft X-ray Photochemistry	1998.5	507	21	35	563
	BL28B2	White Beam X-ray Diffraction	1999.9	236	16	22	274
	BL35XU	High Resolution Inelastic Scattering	2001.9	178	5	12	195
	BL37XU	Trace Element Analysis	2002.11	296	24	45	365
	BL38B1	Structural Biology III	2000.10	725	11	63	799
	BL39XU	Magnetic Materials	1997.10	343	17	77	437
	BL40B2	Structural Biology II	1999.9	750	13	112	875
	BL40XU	High Flux	2000.4	295	20	69	384
	BL41XU	Structural Biology I	1997.10	1034	4	97	1135
	BL43IR	Infrared Materials Science	2000.4	170	14	59	243
	BL46XU	Engineering Science Research III	2000.11	365	18	35	418
	BL47XU	HXPES・MCT	1997.10	462	93	122	677
Public Use at Other Beamlines	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	58	1	29	88
	BL19LXU	RIKEN SR Physics	2002.9	13		3	16
	BL22XU	JAEA Actinide Science I	2004.9	6			6
	BL23SU	JAEA Actinide Science II	1998.6	53	4	15	72
	BL26B1	RIKEN Structural Genomics I	2009.4	69		7	76
	BL26B2	RIKEN Structural Genomics II	2009.4	48		9	57
	BL29XU	RIKEN Coherent X-ray Optics	2002.9	15		1	16
	BL32XU	RIKEN Targeted Proteins	2010.10	74		3	77
	BL44B2	RIKEN Materials Science	1998.5	24		3	27
	BL45XU	RIKEN Structural Biology I	1997.10	162	5	18	185
Subtotal			12797	755	1717	15269	

Beamline Name		Public Use Since	Refereed Papers	Proceedings	Other Publications	Total	
Contract Beamlines	BL03XU	Advanced Softmaterials	2009.11	330		11	341
	BL07LSU	The University-of-Tokyo Outstation Beamline for Materials Science	2009.11	99		9	108
	BL08B2	Hyogo Prefecture BM	2005.9	83			83
	BL11XU	QST Quantum Dynamics I		181	8	35	224
	BL12B2	NSRRC BM	2001.9	306	1	2	309
	BL12XU	NSRRC ID	2003.2	167	7	4	178
	BL14B1	QST Quantum Dynamics II		234	12	63	309
	BL15XU	WEBRAM	2001.4	553	11	45	609
	BL16B2	Sunbeam BM	1999.9	194	12	68	274
	BL16XU	Sunbeam ID	1999.9	189	8	53	250
	BL22XU	JAEA Actinide Science I		178	1	38	217
	BL23SU	JAEA Actinide Science II		318	44	103	465
	BL24XU	Hyogo Prefecture ID	1998.10	207	19	61	287
	BL28XU	RISING II	2012.4	28			28
	BL31LEP	Laser-Electron Photon II	2013.10	6			6
	BL32B2	Pharmaceutical Industry (2002.9 - 2012.3)		28		3	31
	BL33LEP	Laser-Electron Photon	2000.10	68	23	3	94
	BL33XU	Toyota	2009.5	78	5	26	109
	BL36XU	Catalytic Reaction Dynamics for Fuel Cell	2013.1	41		1	42
	BL44XU	Macromolecular Assemblies	2000.2	609		40	649
Subtotal			3897	151	565	4613	
RIKEN Beamlines	BL17SU	Coherent Soft X-ray Spectroscopy		112	4	13	129
	BL19LXU	SR Physics		140	8	27	175
	BL26B1	Structural Genomics I		191	2	19	212
	BL26B2	Structural Genomics II		146	1	13	160
	BL29XU	Coherent X-ray Optics		240	14	37	291
	BL32XU	Targeted Proteins		52		3	55
	BL43LXU	Quantum NanoDynamics		3			3
	BL44B2	Materials Science		287	2	16	305
	BL45XU	Structural Biology I		249	5	45	299
	Subtotal			1420	36	173	1629

SACLA

Public Beamlines	Beamline Name		Public Use Since	Refereed Papers	Proceedings	Other Publications	Total
	BL1	SXFEL	2016.3	4			4
BL2/BL3	XFEL2/XFEL1	2012.3	184	4	9	197	

Hardware / Software R & D	774	514	462	1750
---------------------------	-----	-----	-----	------

NET Sum Total	15906	1306	2249	19461
---------------	-------	------	------	-------

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、上記の二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/](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、平成 30 年 7 月～9 月に登録されたものを以下に紹介します。論文の情報（主著者、巻、発行年、ページ、タイトル）に加え、データベースの登録番号（研究成果番号）を掲載していますので、詳細は上記検索ページの検索結果画面でご覧いただくことができます。また実施された課題の情報（課題番号、ビームライン、実験責任者名）も掲載しています。課題番号は最初の 4 文字が「year」、次の 1 文字が「term」、後ろの 4 文字が「proposal no.」となっていますので、この情報から以下の URL で公表している、各課題の英文利用報告書 (SPring-8 User Experiment Report) を探してご覧いただくことができます。

[http://www.spring8.or.jp/ja/news\\_publications/publications/user\\_exp\\_report/](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 2018 年 7 月～9 月に登録された論文が掲載された主な雑誌と掲載論文数

掲載雑誌	登録論文数	掲載雑誌	登録論文数
Japanese Journal of Applied Physics	14	Applied Physics Express	5
Physical Review B	11	Applied Physics Letters	4
Scientific Reports	9	Chemistry Letters	4
Journal of the Physical Society of Japan	8	Inorganic Chemistry	4
Microscopy and Microanalysis	7	Nature Communications	4
The Journal of Physical Chemistry C	6		

他全 141 誌、計 241 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

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
36405	Takahiro Yamada	57 (2018) 06KA07	2016A3822	BL23SU	渡部 平司	Physical and Electrical Characterizations of AlGaIn/GaN MOS Gate Stacks with AlGaIn Surface Oxidation Treatment
			2016B3833	BL23SU	渡部 平司	
36406	Mikito Nozaki	57 (2018) 06KA02	2016B3801	BL23SU	吉越 章隆	Implementation of Atomic Layer Deposition-Based AlON Gate Dielectrics in AlGaIn/GaN MOS Structure and its Physical and Electrical Properties
			2016B3833	BL23SU	渡部 平司	
			2017A3801	BL23SU	吉越 章隆	
			2017A3833	BL23SU	渡部 平司	
36407	Kenta Watanabe	57 (2018) 06KA03	2015B3872	BL23SU	渡部 平司	SiO <sub>2</sub> /AlON Stacked Gate Dielectrics for AlGaIn/GaN MOS Heterojunction Field-Effect Transistors
			2016A3822	BL23SU	渡部 平司	
			2016B3833	BL23SU	渡部 平司	
36422	Tomoya Sato	57 (2018) 0902B8	2016B1717	BL13XU	一ノ瀬 大地	Time Response Demonstration of in situ Lattice Deformation under an Applied Electric Field by Synchrotron-Based Time-Resolved X-ray Diffraction in Polar-Axis-Oriented Epitaxial Pb(Zr,Ti)O <sub>3</sub> Film
36444	Takuya Hiyama	57 (2018) 08RB23	2015A1986	BL46XU	池野 成裕	Study on Chemical Bonding States at Electrode-Silicon Interface Fabricated with Fire-through Control Paste
			2016A1746	BL46XU	小椋 厚志	
			2017A1782	BL46XU	小島 拓人	
36499	Koichi Ito	57 (2018) 06HD08	2017A1475	BL47XU	大田 晃生	Growth of Two Dimensional Ge Crystal by Annealing of Heteroepitaxial Ag/Ge(111) under N <sub>2</sub> Ambient
			2014A0109	BL47XU	宮崎 誠一	
36500	Koichi Ito	57 (2018) 04FJ05	2014A0109	BL47XU	宮崎 誠一	Segregated SiGe Ultrathin Layer Formation and Surface Planarization on Epitaxial Ag(111) by Annealing of Ag/SiGe(111) with Different Ge/(Si + Ge) Compositions
36501	Truyen Nguyen	57 (2018) 04FG11	2017A1475	BL47XU	大田 晃生	High Thermal Stability of Abrupt SiO <sub>2</sub> /GaN Interface with Low Interface State Density
36609	Shingo Yamamoto	57 (2018) 09TD02	2016A8060	BL1	松田 巖	Femtosecond Resonant Magneto-Optical Kerr Effect Measurement on an Ultrathin Magnetic Film in a Soft X-ray Free Electron Laser
			2015B7401	BL07LSU	松田 巖	
			2015A7401	BL07LSU	松田 巖	
			2014B7473	BL07LSU	松田 巖	
			2014B7401	BL07LSU	松田 巖	
36649	Kenji Nomura	57 (2018) 11UF01	2018A5110	BL16XU	淡路 直樹	Improvement of Ferroelectric Random Access Memory Manufacturing Margin by Employing Pt/AlO <sub>x</sub> Bottom Electrode for the La-Doped Pb(Zr,Ti)O <sub>3</sub> Ferroelectric Capacitor
			2017B5110	BL16XU	淡路 直樹	
36714	Zhigang Zhang	57 (2018) 11UB04	2015A0074	BL02B2	森吉 千佳子	Study of Materials Structure Physics of Isomorphic LiNbO <sub>3</sub> and LiTaO <sub>3</sub> Ferroelectrics by Synchrotron Radiation X-ray Diffraction
36796	Shinobu Aoyagi	57 (2018) 11UB06	2016B1432	BL02B1	青柳 忍	Time-Resolved Structure Analysis of Piezoelectric Crystals by X-ray Diffraction under Alternating Electric Field
			2017B1399	BL02B1	青柳 忍	
36822	Masahiro Yano	57 (2018) 08NB13	2016A3801	BL23SU	吉越 章隆	Characterization of SiO <sub>2</sub> Reduction Reaction Region at Void Periphery on Si(110)
			2016B3801	BL23SU	吉越 章隆	
36843	Takashi Eshita	57 (2018) 11UA01	2018A5110	BL16XU	淡路 直樹	Development of Highly Reliable Ferroelectric Random Access Memory and its Internet of Things Applications
			2017B5110	BL16XU	淡路 直樹	

Physical Review B-1

36414	Shunsuke Sakuragi	97 (2018) 214421	2014A1675	BL13XU	櫻木 俊輔	Spontaneous Distortion via the Appearance of Ferromagnetism in Pd Ultrathin Films: Observation of an Inverse Mechanism for the Stoner Criterion
			2015A1775	BL13XU	櫻木 俊輔	
			2015B1689	BL13XU	櫻木 俊輔	
36426	Masato Anada	98 (2018) 014105	2012B4901	BL15XU	若林 裕助	Spatial Coherence of the Insulating Phase in Quasi-Two-Dimensional LaNiO <sub>3</sub> Films
			2013A4901	BL15XU	若林 裕助	
36461	Akitoshi Nakano	98 (2018) 045139	2016A1627	BL35XU	中埜 彰俊	Antiferroelectric Distortion with Anomalous Phonon Softening in the Excitonic Insulator Ta <sub>2</sub> NiSe <sub>5</sub>
			2016B1720	BL35XU	中埜 彰俊	
			2015A1528	BL02B1	澤 博	
36469	Kou Takubo	97 (2018) 205142	2016A3564	BL11XU	田久保 耕	Commensurate versus Incommensurate Charge Ordering Near the Superconducting Dome in Ir <sub>1-x</sub> Pt <sub>x</sub> Te <sub>2</sub> Revealed by Resonant X-ray Scattering
			2014B3787	BL22XU	田久保 耕	
36532	Takayuki Tajiri	98 (2018) 064409	2011A1934	BL02B2	田尻 恭之	Effect of Size on the Magnetic Properties and Crystal Structure of Magnetically Frustrated DyMn <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Nanoparticles

Physical Review B-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
36602	Kenji Ohwada	98 (2018) 054106	2013B3713	BL22XU	大和田 謙二	Effect of B-site Randomness on the Antiferroelectric/Relaxor Nature of the Ground State: Diffuse and Inelastic X-ray Scattering Study of Pb(In <sub>1/2</sub> Nb <sub>1/2</sub> )O <sub>3</sub>
			2011A3713	BL22XU	大和田 謙二	
			2010A1459	BL35XU	大和田 謙二	
			2009B3713	BL22XU	大和田 謙二	
			2009A1203	BL35XU	大和田 謙二	
36613	Kento Hasegawa	98 (2018) 020405(R)	2017B0921	BL39XU	壬生 攻	Enhancement of Spin-Orbit Torque by Inserting CoO <sub>x</sub> Layer into Co/Pt Interface
36628	Jayita Nayak	98 (2018) 075206	2011A4901	BL15XU	Fecher Gerhard	Temperature-Induced Modification of the Dirac Cone in the Tetradymite Topological Insulator Bi <sub>2</sub> Te <sub>2</sub> Se
			2011B4906	BL15XU	Fecher Gerhard	
			2013A4907	BL15XU	Fecher Gerhard	
			2015A4910	BL15XU	Fecher Gerhard	
			2011A1464	BL47XU	Fecher Gerhard	
			2011B1566	BL47XU	Fecher Gerhard	
2016B1086	BL47XU	Fecher Gerhard				
36729	Ikuto Kawasaki	94 (2016) 174427	2015B3884	BL23SU	川崎 郁斗	Correlation Effect in Sr <sub>1-x</sub> La <sub>x</sub> RuO <sub>3</sub> Studied by Soft X-ray Photoemission Spectroscopy
36824	Yoshihiko Kobayashi	98 (2018) 115154	2016B1067	BL08W	小林 義彦	Symmetry Change of Co 3d Orbital Associated with the 500-K Spin Crossover Accompanied by Insulator-to-Metal Transition in LaCoO <sub>3</sub>
			2011B1298	BL08W	小林 義彦	
			2012A1714	BL08W	伊藤 真義	
			2013A1023	BL08W	小林 義彦	
			2014B1201	BL08W	小林 義彦	
			2015A1211	BL08W	小林 義彦	
2017A1175	BL08W	小林 義彦				
36865	Hidekazu Aratani	98 (2018) 121113(R)	2013B3882	BL23SU	関山 明	Revising the 4f Symmetry in CeCu <sub>2</sub> Ge <sub>2</sub> : Soft X-ray Absorption and Hard X-ray Photoemission Spectroscopy
			2014B3882	BL23SU	関山 明	
			2016A3832	BL23SU	藤原 秀紀	
			2014B1305	BL19LXU	関山 明	
			2015A1533	BL19LXU	関山 明	

Scientific Reports

36467	Kei Okatsu	8 (2018) 10382	2017A2595	BL41XU	深井 周也	Structural Insights into Ubiquitin Phosphorylation by PINK1
			2016A2567	BL41XU	深井 周也	
			2014B1291	BL41XU	山形 敦史	
36476	Fumitaro Ishikawa	8 (2018) 5962	2011A1683	BL46XU	石川 史太郎	Annealing Induced Atomic Rearrangements on (Ga,In) (N,As) Probed by Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy and X-ray Absorption Fine Structure
			2008B1926	BL46XU	石川 史太郎	
			2008B1924	BL37XU	青柳 利隆	
36481	Atsushi Mukaiyama	8 (2018) 8803	2014A6700	BL44XU	大野 美恵	Conformational Rearrangements of the C1 Ring in KaiC Measure the Timing of Assembly with KaiB
			2014B6700	BL44XU	大野 美恵	
			2015A6700	BL44XU	中川 敦史	
			2015B6700	BL44XU	中川 敦史	
			2016A6700	BL44XU	中川 敦史	
			2016B6700	BL44XU	中川 敦史	
			2017A6702	BL44XU	秋山 修志	
2017B6702	BL44XU	秋山 修志				
36610	Yujiro Higuchi	8 (2018) 12013	2014B2015	BL26B1	伏信 進矢	Identification and Characterization of a Novel β-D-Galactosidase that Releases Pyruvylated Galactose
			2016B2714	BL26B1	伏信 進矢	
			2017A2540	BL26B1	伏信 進矢	
36625	Tomoaki Sasaki	8 (2018) 11964	2016B1754	BL02B2	佐々木 友彰	Tightly Binding Valence Electron in Aluminum Observed through X-ray Charge Density Study
			2015A0074	BL02B2	森吉 千佳子	
36638	Tetsuo Yamashita	8 (2018) 2427	2017A6722	BL44XU	志波 智生	Ubiquinone Binding Site of Yeast NADH Dehydrogenase Revealed by Structures Binding Novel Competitive- and Mixed-Type Inhibitors
36659	Keichi Omika	8 (2018) 13268	2015B7494	BL07LSU	吹留 博一	Operation Mechanism of GaN-Based Transistors Elucidated by Element-Specific X-ray Nanospectroscopy
			2016B7513	BL07LSU	吹留 博一	
			2016B7514	BL07LSU	末光 眞希	
			2017A7526	BL07LSU	吹留 博一	
36727	Nagayuki Hasegawa	8 (2018) 13123	2017A2542	BL41XU	竹田 一旗	X-ray Structure Analysis of Bacteriorhodopsin at 1.3 Å Resolution
36848	Yurina Sekine	7 (2017) 2064	2016A3611	BL14B1	辻 卓也	Calcium-Deficient Hydroxyapatite as a Potential Sorbent for Strontium

Journal of the Physical Society of Japan

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
36449	Keichiro Imura	86 (2018) 093702	2015B1230	BL47XU	松波 雅治	First Observation of Heavy Fermion Behavior in Ce-Based Icosahedral Approximant
36451	Mihee Lee	87 (2018) 084601	2016A1621	BL47XU	李 美希	Distortion Analysis of Ir- and Co-doped LaAlO <sub>3</sub> /SrTiO <sub>3</sub> (001) Interfaces by Hard X-ray Photoelectron Diffraction
			2017B1717	BL47XU	李 美希	
36458	Toru Hagiya	87 (2018) 084703	2015A4264	BL12XU	松田 和博	Plasmons in Liquid Rb at Elevated Temperatures Studied by Inelastic X-ray Scattering
			2015B4251	BL12XU	松田 和博	
			2016A4264	BL12XU	松田 和博	
			2016B4254	BL12XU	松田 和博	
36660	Masafumi Horio	87 (2018) 105001	2015A3881	BL23SU	藤森 淳	Local Magnetic States of the Weakly Ferromagnetic Iron-Based Superconductor Sr <sub>2</sub> VFeAsO <sub>3-δ</sub> Studied by X-ray Magnetic Circular Dichroism
36717	Shun Asano	87 (2018) 094710	2016A1603	BL01B1	浅野 駿	Ce Substitution and Reduction Annealing Effects on Electronic States in Pr <sub>2-x</sub> Ce <sub>x</sub> CuO <sub>4</sub> Studied by Cu K-edge X-ray Absorption Spectroscopy
			2017B3611	BL14B1	辻 卓也	
36730	Takaya Mitsui	85 (2016) 063601	2015A3501	BL11XU	三井 隆也	Observation of Enhancement of the Morin Transition Temperature in Iridium-Doped α-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Thin Film by <sup>57</sup> Fe-Grazing Incidence Synchrotron Radiation Mössbauer Spectroscopy
			2015B3501	BL11XU	三井 隆也	
36731	Takaya Mitsui	87 (2018) 093001	2015A3501	BL11XU	三井 隆也	Variable-bandwidth <sup>57</sup> Fe Synchrotron Mössbauer Source
			2015B3501	BL11XU	三井 隆也	
			2016A3551	BL11XU	三井 隆也	
			2016B3551	BL11XU	三井 隆也	
			2017A3551	BL11XU	三井 隆也	
			2017B3551	BL11XU	三井 隆也	
			2018A3551	BL11XU	三井 隆也	
			2018A3552	BL11XU	三井 隆也	

Microscopy and Microanalysis

36540	Ryuta Mizutani	24 (2018) 358-359	2013A1384	BL37XU	鈴木 芳生	Spatial Resolution of Pre-Reconstruction Raw Images and their Nano-CT Slices
			2017A1143	BL37XU	水谷 隆太	
36541	Rino Saiga	24 (2018) 360-361	2013A1384	BL37XU	鈴木 芳生	Synchrotron Radiation Nanotomography of Biological Soft Tissues
			2017A1143	BL37XU	水谷 隆太	
			2017B1120	BL20B2	水谷 隆太	
36542	Rino Saiga	21 (2015) 919-920	2013A1384	BL37XU	鈴木 芳生	Three-Dimensional Neuronal Structure of Human Cerebral Cortex Determination by Synchrotron-Radiation Microtomography
			2014A1057	BL37XU	水谷 隆太	
			2014B1083	BL20XU	水谷 隆太	
36543	Ryuta Mizutani	21 (2015) 917-918	2008B1261	BL47XU	水谷 隆太	X-ray Tomographic Microscopy of Drosophila Brain Network and Skeletonized Model Building in the Three-Dimensional Image
			2011A0034	BL47XU	水谷 隆太	
			2013A1384	BL37XU	鈴木 芳生	
			2014A1057	BL37XU	水谷 隆太	
36607	Akihisa Takeuchi	24 (2018) 106-107	2015B1404	BL47XU	竹内 晃久	Nondestructive Multiscale X-Ray Tomography by Combining Microtomography and High-Energy Phase-Contrast Nanotomography
			2015B1993	BL20XU	竹内 晃久	
			2016B1459	BL20XU	竹内 晃久	
			2017A1268	BL20XU	竹内 晃久	
36711	Takahisa Koyama	24 (2018) 294-295	2017B1407	BL20XU	竹内 晃久	Development of Multilayer Focusing Mirror System for XFEL CDI Experiments of Biological Particles
			2015A8070	BL3	小山 貴久	
			2015B8067	BL3	小山 貴久	
			2016B8089	BL2	小山 貴久	
			2017A8085	BL2	小山 貴久	
36735	Kazushi Sumitani	24 (2018) 302-303	2017B8089	BL2	小山 貴久	Compound Refractive Lens Optics for Microbeam X-ray Diffraction Measurements at BL13XU in SPring-8
			2018A8081	BL2	小山 貴久	
			2016B1972	BL13XU	隅谷 和嗣	
			2017A1859	BL13XU	隅谷 和嗣	
			2017B1961	BL13XU	隅谷 和嗣	
			2018A2071	BL13XU	隅谷 和嗣	
			2018A2072	BL13XU	隅谷 和嗣	

The Journal of Physical Chemistry C

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
36454	Saki Ozawa	122 (2018) 14511-14517	2014B7820	BL36XU	唯 美津木	Operando Time-Resolved X-ray Absorption Fine Structure Study for Pt Oxidation Kinetics on Pt/C and Pt <sub>3</sub> Co/C Cathode Catalysts by Polymer Electrolyte Fuel Cell Voltage Operation Synchronized with Rapid O <sub>2</sub> Exposure
			2015A7820	BL36XU	唯 美津木	
			2015B7820	BL36XU	唯 美津木	
			2016A7820	BL36XU	松井 公佑	
36457	Sou Taminato	122 (2018) 16607-16612	2016B7822	BL36XU	唯 美津木	Reversible Structural Changes and High-Rate Capability of Li <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> -Modified Li <sub>2</sub> RuO <sub>3</sub> for Lithium-Rich Layered Rocksalt Oxide Cathodes
			2011B1863	BL46XU	菅野 了次	
			2010A3672	BL14B1	菅野 了次	
			2011A1866	BL46XU	菅野 了次	
36458	Shuhei Ogo	122 (2018) 2089-2096	2012A1615	BL46XU	菅野 了次	Electron-Hopping Brings Lattice Strain and High Catalytic Activity in the Low-Temperature Oxidative Coupling of Methane in an Electric Field
			2017B1780	BL14B2	関根 泰	
			2016B7904	BL36XU	朝倉 清高	
			2013B7601	BL28XU	小久見 善八	
36614	Qiuyi Yuan	122 (2018) 16664-16673	2014A7601	BL28XU	小久見 善八	Reaction Stoichiometry and Mechanism of Pt Deposition via Surface Limited Redox Replacement of Copper UPD Layer on Au(111)
			2014B7601	BL28XU	小久見 善八	
			2015A7601	BL28XU	小久見 善八	
			2015A7601	BL28XU	小久見 善八	
36748	Tomoya Kawaguchi	122 (2018) 19298-19308	2011A3610	BL14B1	松村 大樹	Strain-Induced Stabilization of Charged State in Li-Rich Layered Transition-Metal Oxide for Lithium-Ion Batteries
			2011B3610	BL14B1	松村 大樹	
			2012B3609	BL14B1	松村 大樹	
36847	Hiroyuki Itoi	121 (2017) 7892-7902	2017B1029	BL20B2	坂田 修身	Fine Dispersion of Pt <sub>45</sub> Subnanoclusters and Pt Single Atoms over Porous Carbon Supports and Their Structural Analyses with X-ray Absorption Spectroscopy
			2017B4504	BL15XU	Lou Yanfang	
			2017B1029	BL20B2	坂田 修身	

Applied Physics Express

36421	Jaemyung Kim	11 (2018) 081002	2017A1030	BL20B2	坂田 修身	Lattice-Plane Orientation Mapping of Homo-Epitaxial GaN(0001) Thin Films via Grazing-Incidence X-ray Diffraction Topography in 2-in. Water
			2017A1033	BL13XU	坂田 修身	
			2017A4504	BL15XU	Lou Yanfang	
			2017B4504	BL15XU	Seo Okkyun	
			2017B4505	BL15XU	Kim Jaemyung	
36466	Yukako Kato	11 (2018) 061302	2015B7498	BL07LSU	加藤 有香子	Three-Dimensional Atomic Arrangement around Active/Inactive Dopant Sites in Boron-Doped Diamond
			2017B7554	BL07LSU	大門 寛	
36486	Yushi Kato	11 (2018) 053007	2017B5360	BL16B2	藤井 景子	Giant Voltage-Controlled Magnetic Anisotropy Effect in a Crystallographically Strained CoFe System
			2012A5360	BL16B2	吉木 昌彦	
			2017A5360	BL16B2	吉木 昌彦	
36652	Shigenori Ueda	11 (2018) 105701	2016B4606	BL15XU	上田 茂典	Depth-Resolved Electronic Structure Measurements by Hard X-ray Photoemission Combined with X-ray Total Reflection: Direct Probing of Surface Band Bending of Polar GaN
36715	Zhigang Zhang	11 (2018) 071501	2015A0074	BL02B2	森吉 千佳子	Synchrotron-Radiation X-ray Diffraction Evidence of the Emergence of Ferroelectricity in LiTaO <sub>3</sub> by Ordering of a Disordered Li Ion in the Polar Direction

Applied Physics Letters

36409	Zhen Wang	113 (2018) 012901	2014B3624	BL14B1	横田 紘子	Local Structures and Temperature-Driven Polarization Rotation in Zr-Rich PbZr <sub>1-x</sub> Ti <sub>x</sub> O <sub>3</sub>
36526	Takashi Someya	113 (2018) 051601	2014B1804	BL25SU	吹留 博一	Interfacial Carrier Dynamics of Graphene on SiC, Traced by the Full-Range Time-Resolved Core-Level Photoemission Spectroscopy
			2016A7502	BL07LSU	吹留 博一	
			2017A7527	BL07LSU	吹留 博一	
36622	Okkyun Seo	113 (2018) 071907	2014B1210	BL04B2	Kumara Rosantha	Lattice Constant, Bond-Orientational Order, and Solid Solubility of PdPt Bimetallic Nanoparticles
			2015B1245	BL04B2	坂田 修身	
			2016A1028	BL04B2	坂田 修身	
36737	Ro-Ya Liu	112 (2018) 211603	2016B7523	BL07LSU	Chiang Tai	Controlling the Surface Photovoltage on WSe <sub>2</sub> by Surface Chemical Modification
			2013B7454	BL07LSU	Tang Shu Jung	
			2014B7480	BL07LSU	Tang Shu Jung	
			2016A7503	BL07LSU	小澤 健一	

### Chemistry Letters

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
36621	Ichiro Hisaki	47 (2018) 1143-1146	2018A1238	BL02B2	久木 一朗	CO <sub>2</sub> Sorption of Layered Hydrogen-Bonded Organic Framework Causes Reversible Structural Changes Involving Four Different Crystalline States under Ambient Pressure
			2017B1325	BL02B2	久木 一朗	
			2017A1205	BL02B2	久木 一朗	
36696	Quan Zhang	47 (2018) 559-561	2016A1255	BL02B2	北川 宏	Crystal Structure-Dependent Thermal Stability and Catalytic Performance of AuRu <sub>3</sub> Solid-Solution Alloy Nanoparticles
36859	Kazuto Nakamura	46 (2017) 1269-1271	2017A1408	BL40B2	羽毛田 洋平	Pyrrole-Based Hydrogen-Bonding Dimers Providing Discotic Columnar Structures
			2017A1305	BL40B2	前田 大光	
36863	Kosuke Kaneko	47 (2018) 1180-1183	2017B1559	BL40B2	羽毛田 洋平	Induced Homeotropic Alignment of Nematic Liquid Crystals by Doping Side-on Carbosilane-Based Oligomers
			2017B1294	BL40B2	山門 陵平	
			2017B1499	BL40B2	前田 大光	

### Inorganic Chemistry

36635	Md Saiduzzaman	57 (2018) 8903-8908	2017B1343	BL02B2	熊田 伸弘	Crystal Structure, Thermal Behavior, and Photocatalytic Activity of NaBiO <sub>3</sub> ·nH <sub>2</sub> O
36641	Akhil Tayal	57 (2018) 10072-10080	2014A1321	BL04B2	坂田 修身	Local Geometry and Electronic Properties of Nickel Nanoparticles Prepared via Thermal Decomposition of Ni-MOF-74
			2016A0130	BL01B1	小原 真司	
			2014B4906	BL15XU	北川 宏	
		2016A4904	BL15XU	小林 浩和		
36692	Kento Kanazawa	57 (2018) 9925-9930	2015A0074	BL02B2	森吉 千佳子	Mechanochemical Synthesis and Characterization of Metastable Hexagonal Li <sub>4</sub> Sn <sub>4</sub> Solid Electrolyte
36795	Kohta Asano	57 (2018) 11831-11838	2012B3787	BL22XU	Kim Hyunjeong	Structural Variation of Self-Organized Mg Hydride Nanoclusters in Immiscible Ti Matrix by Hydrogenation

### Nature Communications

36520	Dominique Ray-Gallet	9 (2018) 3103	2015B1049	BL41XU	千田 俊哉	Functional Activity of the H3.3 Histone Chaperone Complex HIRA Requires Trimerization of the HIRA Subunit
36642	Tommaso Pincelli	8 (2017) 16051	2016A1289	BL19LXU	Panaccione Giancarlo	Quantifying the Critical Thickness of Electron Hybridization in Spintronic Materials
			2015B1162	BL19LXU	Panaccione Giancarlo	
36726	Taisuke Matsuno	9 (2018) 3779	2016B1443	BL38B1	佐藤 宗太	Concyclic CH-π Arrays for Single-Axis Rotations of a Bowl in a Tube
			2017B1063	BL38B1	松野 太輔	
36797	Ayano Nakagawa	9 (2018) 3073	2017A1206	BL02B1	青柳 忍	Crystalline Functionalized Endohedral C <sub>60</sub> Metallofullerides
			2017B1373	BL02B1	青柳 忍	

### Angewandte Chemie International Edition

36695	Shun Dekura	57 (2018) 9823-9827	2017A1189	BL02B2	小林 浩和	The Electronic State of Hydrogen in the α Phase of the Hydrogen-Storage Material PdH(D) <sub>x</sub> : Does a Chemical Bond Between Palladium and Hydrogen Exist?
			2017B1352	BL02B2	小林 浩和	
36799	Ichiro Hisaki	57 (2018) 12650-12655	2017A1211	BL38B1	久木 一朗	Docking Strategy To Construct Thermostable, Single-Crystalline, Hydrogen-Bonded Organic Framework with High Surface Area
			2017B1322	BL38B1	久木 一朗	
36846	Rui Lang	55 (2016) 16054-16058	2016A3609	BL14B1	松村 大樹	Hydroformylation of Olefins by a Rhodium Single-Atom Catalyst with Activity Comparable to RhCl(PPh <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>

### Biochemistry

36410	Shogo Nakano	57 (2018) 3722-3732	2017B2708	BL38B1	中野 祥吾	Benchmark Analysis of Native and Artificial NAD <sup>+</sup> -Dependent Enzymes Generated by a Sequence-Based Design Method with or without Phylogenetic Data
36629	Siu Kit Chan	55 (2016) 4092-4104	2015A1116	BL38B1	神山 勉	Crystal Structure of the 11- <i>cis</i> Isomer of <i>Pharaonis</i> Halorhodopsin: Structural Constraints on Interconversions among Different Isomeric States
36758	Nobutaka Numoto	57 (2018) 5289-5300	2017B2703	BL38B1	稲葉 理美	Structural Dynamics of the PET-Degrading Cutinase-Like Enzyme from <i>Saccharomonospora viridis</i> AHK190 in Substrate-Bound States Elucidates the Ca <sup>2+</sup> -Driven Catalytic Cycle



**e-Journal of Surface Science and Nanotechnology**

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
36431	Masaharu Oshima	16 (2018) 257-261	2016A7402	BL07LSU	尾嶋 正治	Photoelectron Nano-Spectroscopy of Reactive Ion Etching-Induced Damages to the Trench Sidewalls and Bottoms of 4H-SiC Trench-MOSFETs
36792	Yuki Koda	15 (2017) 50-54	2016A3389 2016B3231	BL08B2 BL24XU	住田 弘祐 住田 弘祐	Fabrication and <i>in/ex situ</i> XPS Characterization of Rh Nanoparticles
36820	Masahiro Yano	16 (2018) 370-374	2016A3801 2016B3801	BL23SU BL23SU	吉越 章隆 吉越 章隆	STM-Induced SiO <sub>2</sub> Decomposition on Si(110)

**Journal of Materials Chemistry A**

36427	Ji Wu	6 (2018) 11819-11829	2017B1265 2017A1803	BL02B2 BL19B2	藤井 孝太郎 藤井 孝太郎	A Systematic Evaluation of the Role of Lanthanide Elements in Functional Complex Oxides; Implications for Energy Conversion Devices
36456	Takahito Sato	6 (2018) 13943-13951	2017B1218	BL02B2	藪内 直明	Metastable and Nanosize Cation-Disordered Rocksalt-Type Oxides: Revisit of Stoichiometric LiMnO <sub>2</sub> and NaMnO <sub>2</sub>
36708	Ming-Jay Deng	(2018) Online published 29 Aug. 2018	2017B4135	BL12B2	Deng Ming-Jay	4.2 V Wearable Asymmetric Supercapacitor Devices Based on a VO <sub>x</sub> /MnO <sub>x</sub> Paper Electrode and an Eco-Friendly Deep Eutectic Solvent-Based Gel Electrolyte

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

36435	Hiroya Oki	115 (2018) 7422-7427	2009A1283 2009B1417 2015A1101 2016A2569	BL38B1 BL38B1 BL26B1 BL38B1	中村 昇太 中村 昇太 中村 昇太 中村 昇太	Interplay of a Secreted Protein with Type IVb Pilus for Efficient Enterotoxigenic <i>Escherichia coli</i> Colonization
36688	SungHark Kwon	115 (2018) 7045-7050	2015A1076 2016A2525 2016A2525 2016A2525 2017A2537	BL41XU BL41XU BL26B1 BL38B1 BL41XU	三木 邦夫 三木 邦夫 三木 邦夫 三木 邦夫 三木 邦夫	Crystal Structures of a [NiFe] Hydrogenase Large Subunit HyhL in an Immature State in Complex with a Ni Chaperone HypA
36690	Hikaru Shimizu	115 (2018) 9563-9568	2016B6626 2017B6730 2017A6730	BL44XU BL44XU BL44XU	藤間 祥子 藤間 祥子 藤間 祥子	GEF Mechanism Revealed by the Structure of SmgGDS-558 and Farnesylated RhoA Complex and its Implication for a Chaperone Mechanism

**RSC Advances**

36661	Chulho Song	8 (2018) 26293-26299	2015A4501 2015B4501 2016A4504 2016B4501 2012A4501 2012A4502 2014A4505 2014B4500	BL15XU BL15XU BL15XU BL15XU BL15XU BL15XU BL15XU BL15XU	久保 佳実 久保 佳実 久保 佳実 久保 佳実 伊藤 仁彦 伊藤 仁彦 久保 佳実 久保 佳実	<i>Operando</i> Structural Study of Non-Aqueous Li-Air Batteries using Synchrotron-Based X-ray Diffraction
36804	Pei-Yu Chuang	8 (2018) 423-428	2015A4126 2015B4125 2015B4255 2015B4130 2016A4261 2017A4250	BL12B2 BL12B2 BL12XU BL12B2 BL12XU BL12XU	Huang Jung Chun Huang Jung Chun Huang Jung Chun Huang Jung Chun Huang Jung Chun Huang Jung Chun	Anti-Site Defect Effect on the Electronic Structure of a Bi <sub>2</sub> Te <sub>3</sub> Topological Insulator
36810	Y. Tung	7 (2017) 47789-47795	2016A4251 2016A4140 2016B4256 2017A4259 2017B4256	BL12XU BL12B2 BL12XU BL12XU BL12XU	Huang Jung Chun Huang Jung Chun Huang Jung Chun Huang Jung Chun Huang Jung Chun	Tuning the Transport and Magnetism in a Cr-Bi <sub>2</sub> Se <sub>3</sub> Topological Insulator by Sb Doping

**AIP Advances**

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
36434	Okkyun Seo	8 (2018) 075318	2017A1030	BL20B2	坂田 修身	Evaluation of Lattice Curvature and Crystalline Homogeneity for 2-inch GaN Homo-Epitaxial Layer
			2017A1033	BL13XU	坂田 修身	
			2017A4504	BL15XU	Lou Yanfang	
			2017B1029	BL20B2	坂田 修身	
			2017B4505	BL15XU	Kim Jaemyung	
36626	Rolf Stinshoff	7 (2017) 105009	2008A0017	BL47XU	Felser Claudia	Half-Metallic Compensated Ferrimagnetism with a Tunable Compensation Point over a Wide Temperature Range in the Mn-Fe-V-Al Heusler System
			2008A1606	BL25SU	Felser Claudia	

**Biochemical and Biophysical Research Communications**

36455	Yuhi Hosoe	503 (2018) 338-343	2016B1101	BL40XU	織田 昌幸	DNA-Binding Induced Conformational Change of c-Myb R2R3 Analyzed using Diffracted X-ray Tracking
			2017A1072	BL40XU	織田 昌幸	
36685	SungHark Kwon	498 (2018) 782-788	2016A2525	BL41XU	三木 邦夫	Structure of a [NiFe] Hydrogenase Maturation Protease Hycl Provides Insights into its Substrate Selectivity
			2017A2537	BL41XU	三木 邦夫	

**Chemistry - A European Journal**

36433	Dan-Dan Zhou	24 (2018) 9976-9982	2016B1205	BL02B2	Sun Hong-Tao	Ion-Exchangeable Microporous Polyoxometalate Compounds with Off-Center Dopants Exhibiting Unconventional Luminescence
36861	Hiromitsu Maeda	24 (2018) 8910-8916	2017B1559	BL40B2	羽毛田 洋平	Ion-Pairing Assemblies of $\pi$ -Electronic Anions Formed by Intramolecular Hydrogen Bonding
			2017B1499	BL40B2	前田 大光	
			2017B1725	BL40B2	笹野 力史	
			2016B1311	BL40B2	山門 陵平	
			2016A1360	BL40B2	前田 大光	
			2015A0114	BL40XU	高谷 光	
			2017B1443	BL40XU	前田 大光	
			2017B1504	BL40XU	平田 剛輝	
			2017A1322	BL40XU	前田 大光	

**Chemistry of Materials**

36480	Patrick Rozier	30 (2018) 4926-4934	2016B1544	BL14B2	直井 勝彦	Cation-Disordered $\text{Li}_x\text{VO}_4$ : Reversible Li Insertion/Deinsertion Mechanism for Quasi Li-Rich Layered $\text{Li}_{1-x}[\text{V}_{1/2}\text{Li}_{1/2}]\text{O}_2$ ( $x = 0-1$ )
36653	Nagesh B. Kolhe	30 (2018) 6540-6548	2016B1574	BL19B2	葛原 大軌	All-Polymer Solar Cells with 9.4% Efficiency from Naphthalene Diimide-Biselenophene Copolymer Acceptor

**ECS Transactions**

36623	Takahiro Saida	85 (2018) 865-872	2017B1573	BL37XU	才田 隆広	Investigation of the Active Site for the Oxygen Reduction Reaction on the Oxide Surface Using by In-Situ XAFS Method
36761	Maito Koga	86 (2018) 157-161	2016B1004	BL45XU	松本 英俊	Investigation of Drying Process of Catalyst Ink for Polymer Electrolyte Fuel Cells by Grazing-Incidence X-Ray Scattering
			2017A1002	BL45XU	松本 英俊	
			2017B1006	BL45XU	松本 英俊	
			2018A1001	BL40B2	松本 英俊	

**Electrochimica Acta**

36774	Kaoru Narita	290 (2018) 577-585	2015A1966	BL46XU	弓削 亮太	X-ray and Thermal Analysis of High-Capacity Iron- and Nickel-Containing Lithium-Rich Layered-Oxide Cathode Treated by Carbothermal Reduction
			2016A1518	BL46XU	弓削 亮太	
			2016B1624	BL46XU	弓削 亮太	
36860	Bing-Jen Hsieh	224 (2017) 452-459	2015A4125	BL12B2	Hwang Bing Joe	Tuning Metal Support Interactions Enhances the Activity and Durability of $\text{TiO}_2$ -Supported Pt Nanocatalysts
			2015A4139	BL12B2	Hwang Bing Joe	

**FEBS Open Bio**

36495	Dohyun Im	8 (2018) 314-324	2014B2015	BL26B1	伏信 進矢	Ligand Complex Structures of L-Amino Acid Oxidase/Monooxygenase from <i>Pseudomonas</i> sp. AIU 813 and its Conformational Change
			2016B2714	BL26B1	伏信 進矢	
			2017A2540	BL26B1	伏信 進矢	
36687	Yuya Hanazono	8 (2018) 1312-1321	2015A1077	BL41XU	竹田 一旗	Co-Translational Folding of $\alpha$ -helical Proteins: Structural Studies of Intermediate-Length Variants of the $\lambda$ Repressor

### 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
36413	Daisuke Kan	123 (2018) 235303	2017A1231	BL13XU	菅 大介	Oxygen Octahedral Distortions in Compressively Strained SrRuO <sub>3</sub> Epitaxial Thin Films
			2017B1238	BL13XU	菅 大介	
36448	S. Masuda	124 (2018) 035106	2016A1344	BL02B2	宮崎 秀俊	Effect of High-Pressure Torsion on the Microstructure and Thermoelectric Properties of Fe <sub>2</sub> VAl-based Compounds
			2016B1397	BL02B2	宮崎 秀俊	

### Journal of Asian Ceramic Societies

36643	Nobuhiro Kumada	6 (2018) 247-253	2016A1011	BL02B2	熊田 伸弘	Crystal Structure, Photocatalytic and Dielectric Property of ATiM <sub>2</sub> O <sub>8</sub> (A: Mg, Zn; M: Nb, Ta)
36658	Kengo Oka	6 (2018) 284-288	2016A1157	BL02B2	岡 研吾	Incorporation of Sulfur Ions into La <sub>2-x</sub> Sr <sub>x</sub> CuO <sub>4</sub> Superconducting Cuprate
			2017B1381	BL02B2	岡 研吾	

### Journal of Biological Chemistry

36494	Alexander Holm Viborg	292 (2017) 21092-21101	2014B2015	BL26B1	伏信 進矢	Discovery of α-L-arabinopyranosidases from Human Gut Microbiome Expands the Diversity within Glycoside Hydrolase Family 42
			2016B2714	BL26B1	伏信 進矢	
			2017A2540	BL26B1	伏信 進矢	
36496	Koichi Abe	293 (2018) 8812-8828	2014B2015	BL26B1	伏信 進矢	Structural and Thermodynamic Insights into β-1,2-glucooligosaccharide Capture by a Solute-Binding Protein in <i>Listeria innocua</i>
			2016B2714	BL26B1	伏信 進矢	
			2017A2540	BL26B1	伏信 進矢	

### The Journal of Chemical Physics

36478	Kazuya Tokuda	149 (2018) 014503	2017A5330	BL16B2	徳田 一弥	Structural Analysis of Sulfuric Acid Solutions Containing Ti and Mn using X-ray Diffraction, X-ray Absorption Fine Structure, and Molecular Dynamics Simulation
			2014B1950	BL19B2	斎藤 吉広	
			2015A1999	BL19B2	徳田 一弥	
			2015B1942	BL19B2	徳田 一弥	
36518	Hirokazu Kadobayashi	148 (2018) 164503	2016A1660	BL10XU	門林 宏和	<i>In situ</i> Raman and X-ray Diffraction Studies on the High Pressure and Temperature Stability of Methane Hydrate up to 55 GPa

### Journal of Nuclear Materials

36485	Zihao Wang	508 (2018) 1-11	2016A3786	BL22XU	庄子 哲雄	Microstructure and Pitting Behavior of the Dissimilar Metal Weld of 309L Cladding and Low Alloy Steel A533B
36811	Masaaki Kobata	498 (2018) 387-394	2016A3741	BL22XU	岡根 哲夫	Chemical Form Analysis of Reaction Products in Cs-Adsorption on Stainless Steel by Means of HAXPES and SEM/EDX
			2016B3717	BL22XU	岡根 哲夫	
			2017A3731	BL22XU	岡根 哲夫	

### Journal of Physics: Conference Series

36647	Makoto Matsuura	712 (2016) 012106	2015A1850	BL14B2	松浦 真	Structure Analyses of Cu Nanoclusters in the Soft Magnetic Fe <sub>85.2</sub> Si <sub>1</sub> B <sub>9</sub> P <sub>4</sub> Cu <sub>0.8</sub> Alloy by XAFS and Fcc Cluster Model
			2014A1705	BL14B2	松浦 真	
			2014B1794	BL14B2	松浦 真	
			2013B1715	BL14B2	松浦 真	
36718	Shun Asano	969 (2018) 012051	2016A1603	BL01B1	浅野 駿	Reduction and Oxidation Annealing Effects on Cu K-edge XAFS for Electron-Doped Cuprate Superconductors

### Journal of the American Chemical Society

36459	Yasutaka Kuwahara	140 (2018) 9203-9210	2016A1057	BL01B1	桑原 泰隆	Mild Deoxygenation of Sulfoxides over Plasmonic Molybdenum Oxide Hybrid with Dramatic Activity Enhancement under Visible Light
			2017A1063	BL01B1	桑原 泰隆	
36856	Soichiro Nakatsuka	(2018) Online published Sep. 25, 2018	2016A1052	BL40XU	畠山 琢次	Four-Step Synthesis of B <sub>2</sub> N <sub>2</sub> -Embedded Corannulene
			2016B1059	BL40XU	畠山 琢次	
			2017A1132	BL40XU	畠山 琢次	
			2017B1073	BL40XU	畠山 琢次	
			2018A1114	BL40XU	畠山 琢次	

### Langmuir

36523	Yuji Matsumoto	34 (2018) 7503-7508	2014A1613	BL40B2	大野 正司	Mesoscopic Heterogeneity in Pore Size of Supramolecular Networks
36723	Shunsuke Yamamoto	34 (2018) 10491-10497	2016A1284	BL40B2	山本 俊介	High-Density and Monolayer-Level Integration of π-Conjugated Units: Amphiphilic Carbazole Homopolymer Langmuir-Blodgett Films

### Microscopy

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
36472	Saki Shiomoto	64 (2015) i137	2014A1475	BL20B2	八田 公平	Analysis of Fine Three-Dimensional Structure of Pharyngeal Teeth of Saury ( <i>Cololabis saira</i> : 'SAMMA'), Flying Fish ( <i>Cypselurus pinnatibarbus japonicus</i> : 'TOBIUO'), Medaka ( <i>Oryzias latipes</i> ), Zebrafish ( <i>Danio rerio</i> ), and Other Teleost Species by X-ray Micro-Computed Tomography
			2014B1541	BL20XU	八田 公平	
			2014B1568	BL47XU	八田 公平	
36475	Kohei Hatta	64 (2015) i39	2010A1350	BL20XU	八田 公平	Correlative Imaging Analysis of Tardigrada (Water Bears) under the Active and Dehydrated States by X-ray Micro-Computed Tomography, Electron Microscopy and Confocal Microscopy
			2013A1319	BL20XU	八田 公平	
			2014B1568	BL47XU	八田 公平	

### Physical Chemistry Chemical Physics

36443	Kei Hashimoto	20 (2018) 18355-18360	2012B1502	BL04B2	藤井 健太	Small-Angle X-ray Scattering Study on Nano-Scale Structures Controlled by Water Content in a Binary Water/Ionic Liquid System
			2014A7210	BL03XU	権藤 聡	
36489	Susumu Yamamoto	20 (2018) 19532-19538	2015A7490	BL07LSU	山本 達	Enhancement of CO <sub>2</sub> Adsorption on Oxygen-Functionalized Epitaxial Graphene Surface under Near-Ambient Conditions
			2015B7496	BL07LSU	吉信 淳	
			2016A7401	BL07LSU	吉信 淳	
			2016B7401	BL07LSU	吉信 淳	
			2017A7401	BL07LSU	吉信 淳	
			2017B7401	BL07LSU	吉信 淳	

### Physical Review Letters

36537	Kenta Kuroda	120 (2018) 086402	2017A1410	BL25SU	近藤 猛	Experimental Determination of the Topological Phase Diagram in Cerium Monopnictides
36620	Kenji Tamasaku	121 (2018) 083901	2015A8021	BL3	玉作 賢治	Nonlinear Spectroscopy with X-Ray Two-Photon Absorption in Metallic Copper
			2015B8001	BL3	玉作 賢治	
			2016A8013	BL3	玉作 賢治	
			2016B8039	BL3	玉作 賢治	
			2017A8054	BL3	玉作 賢治	

### Proceedings of SPIE

36487	Yuta Nakanishi	10520 (2018) 105201J	2017A1116	BL13XU	下間 靖彦	Formation Mechanism of Self-Assembled Polarization-Dependent Periodic Nanostructures in $\beta$ -Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
36488	Yasuhiko Shimotsuma	10536 (2018) 105361U	2017A1116	BL13XU	下間 靖彦	Photoinduced Functional Materials by Femtosecond Laser Direct Writing

### Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics

36657	SungHark Kwon	84 (2016) 1321-1327	2015A1076	BL41XU	三木 邦夫	Crystal Structure of a [NiFe] Hydrogenase Maturation Protease HybD from <i>Thermococcus kodakarensis</i> KOD1
36683	Masahiro Fujihashi	84 (2016) 1339-1346	2008A2001	BL41XU	三木 邦夫	Mutation Design of a Thermophilic Rubisco Based on Three-Dimensional Structure Enhances its Activity at Ambient Temperature
			2008A1973	BL41XU	三木 邦夫	
			2009A1012	BL41XU	山本 雅貴	
			2009A1013	BL41XU	山本 雅貴	

### Accounts of Materials & Surface Research

36493	Yuanyuan Tan	3 (2018) 165-171	2017A7821	BL36XU	唯 美津木	Three-Dimensional XAFS Imaging of Polymer Electrolyte Fuel Cell Cathode Catalysts in Membrane Electrode Assembly
			2017B7820	BL36XU	唯 美津木	
			2017A7820	BL36XU	唯 美津木	
			2016B7821	BL36XU	唯 美津木	
			2016A7821	BL36XU	松井 公佑	
			2015A7821	BL36XU	唯 美津木	
			2014B7821	BL36XU	唯 美津木	
			2011A1537	BL47XU	唯 美津木	

### ACS Applied Energy Materials

36637	Ikuya Yamada	1 (2018) 3711-3721	2017B1076	BL04B1	山田 幾也	Synergistically Enhanced Oxygen Evolution Reaction Catalysis for Multielement Transition-Metal Oxides
			2017B1077	BL02B2	山田 幾也	
			2017B1900	BL14B2	山田 幾也	

### ACS Applied Materials and Interfaces

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
36636	Shinobu Takao	10 (2018) 27734-27744	2016A7804	BL36XU	岩澤 康裕	Observation of Degradation of Pt and Carbon Support in Polymer Electrolyte Fuel Cell Using Combined Nano-X-ray Absorption Fine Structure and Transmission Electron Microscopy Techniques
			2016B7804	BL36XU	岩澤 康裕	
			2016B7805	BL36XU	岩澤 康裕	
			2017A7804	BL36XU	岩澤 康裕	
			2017A7805	BL36XU	岩澤 康裕	
			2013A7803	BL36XU	岩澤 康裕	
			2013B7803	BL36XU	岩澤 康裕	
			2014A7806	BL36XU	岩澤 康裕	
			2014B7804	BL36XU	岩澤 康裕	
2015A7804	BL36XU	岩澤 康裕				
2015B7804	BL36XU	岩澤 康裕				

### ACS Catalysis

36682	Shohei Tada	8 (2018) 7809-7819	2017B1584	BL14B2	多田 昌平	Design of Interfacial Sites between Cu and Amorphous ZrO <sub>2</sub> Dedicated to CO <sub>2</sub> -to-Methanol Hydrogenation
-------	-------------	-----------------------	-----------	--------	-------	---

### ACS Nano

36631	Rie Makiura	11 (2017) 10875-10882	2013A1668	BL13XU	牧浦 理恵	Air/Liquid Interfacial Nanoassembly of Molecular Building Blocks into Preferentially Oriented Porous Organic Nanosheet Crystals via Hydrogen Bonding
			2012A1668	BL13XU	牧浦 理恵	

### Acta Crystallographica Section F

36854	Shu Moriyama	74 (2018) 617-624	2016A6643	BL44XU	水島 恒裕	Structure of Glyoxysomal Malate Dehydrogenase (MDH3) from <i>Saccharomyces cerevisiae</i>
			2016B6643	BL44XU	水島 恒裕	
			2017A6753	BL44XU	水島 恒裕	
			2017B6753	BL44XU	水島 恒裕	

### Advanced Energy Materials

36438	Benoit Mortemard de Boisse	8 (2018) 1800409	2017B7540	BL07LSU	大久保 将史	Highly Reversible Oxygen-Redox Chemistry at 4.1 V in Na <sub>4/7-x</sub> [□ <sub>1/7</sub> Mn <sub>6/7</sub> ]O <sub>2</sub> (□: Mn Vacancy)
-------	----------------------------	---------------------	-----------	---------	--------	--

### Advanced Materials

36416	Kayoko Kobayashi	30 (2018) 1705315	2016A1695	BL40XU	小林 加代子	Outstanding Toughness of Cherry Bark Achieved by Helical Spring Structure of Rigid Cellulose Fiber Combined with Flexible Layer of Lipid Polymers
-------	------------------	----------------------	-----------	--------	--------	---

### American Mineralogist

36681	Shigeaki Ono	103 (2018) 1512-1515	2014B1161	BL04B1	小野 重明	Decomposition Boundary from High-Pressure Clinoenstatite to Wadsleyite + Stishovite in MgSiO <sub>3</sub>
			2015A1185	BL04B1	小野 重明	

### Analytical Biochemistry

36713	Hinako Hatae	559 (2018) 91-93	2012A1787	BL41XU	隈 博幸	Crystallization of Human Erythrocyte Band 3, the Anion Exchanger, at the International Space Station "KIBO"
			2013B6842	BL44XU	波多江 日成子	
			2014A6942	BL44XU	波多江 日成子	
			2014B6942	BL44XU	波多江 日成子	
			2015A6534	BL44XU	波多江 日成子	
			2015B6534	BL44XU	波多江 日成子	
			2016A6634	BL44XU	波多江 日成子	
			2016B6634	BL44XU	波多江 日成子	
			2017A6740	BL44XU	波多江 日成子	
2017B6740	BL44XU	波多江 日成子				

### Applied Surface Science

36777	Jiayi Tang	463 (2019) 1161-1167	2016B7401	BL07LSU	吉信 淳	Hydrogen Adsorption and Absorption on a Pd-Ag Alloy Surface Studied using <i>in-situ</i> X-ray Photoelectron Spectroscopy under Ultrahigh Vacuum and Ambient Pressure
			2017A7401	BL07LSU	吉信 淳	
			2017B7401	BL07LSU	吉信 淳	
			2017A3835	BL23SU	唐 佳芸	
			2017A3801	BL23SU	吉越 章隆	
			2017B3801	BL23SU	吉越 章隆	

### Biophysical 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
36436	Mitsuhiro Hirai	115 (2018) 313-327	2016B1381	BL40B2	平井 光博	Direct Evidence for the Effect of Glycerol on Protein Hydration and Thermal Structural Transition
			2016A1487	BL40B2	平井 光博	

### Bulletin of the Chemical Society of Japan

36521	Mariko Yukimoto	91 (2018) 585-587	2017B1726	BL40XU	行本 万里子	The Synthesis of a Novel Bulky Primary Alkyl Group and Its Application toward the Kinetic Stabilization of a Tetraalkyldisilene
			2017A1668	BL40XU	行本 万里子	
			2017B1709	BL02B1	鈴木 文陽	
			2017A1647	BL40XU	鈴木 裕子	
			2016B1705	BL40XU	鈴木 裕子	

### Catalysis Letters

36539	Ami Gondo	148 (2018) 1929-1938	2017B1780	BL14B2	関根 泰	Ammonia Synthesis Over Co Catalyst in an Electric Field
-------	-----------	-------------------------	-----------	--------	------	---

### Catalysts

36849	Ken Motokura	8 (2018) 106	2017A3609	BL14B1	松村 大樹	Effects of Mesopore Internal Surfaces on the Structure of Immobilized Pd-Bisphosphine Complexes Analyzed by Variable-Temperature XAFS and Their Catalytic Performances
-------	--------------	-----------------	-----------	--------	-------	--

### Cell Research

36632	Biao Qiu	28 (2018) 644-654	2015B1933	BL41XU	長谷川 和也	Succinate-Acetate Permease from <i>Citrobacter koseri</i> is an Anion Channel that Unidirectionally Translocates Acetate
			2014B1158	BL41XU	Liao Jun	
			2015A1100	BL41XU	Liao Jun	
			2016A2531	BL41XU	Liao Jun	
			2017A2559	BL41XU	Liao Jun	

### Ceramics International

36618	Daisuke Hirose	44 (2018) 17602-17611	2013A1679	BL04B2	李 金望	Origin of the Thermal Plasticity Property of Zirconium Oxide Gels for Use in Direct Thermal Nanoimprinting
			2011B1900	BL04B2	下田 達也	
			2013B1757	BL04B2	李 金望	

### ChemBioChem

36794	Tsung Lin Li	(2018) Online published 28 Aug. 2018	2015A4006	BL12B2	Li Tsung Lin	Evidence of Diradicals Involved in the Yeast Transketolase Catalyzed Keto-Transferring Reactions
			2015B4001	BL12B2	Li Tsung Lin	

### ChemCatChem

36741	Yuji Mahara	10 (2018) 3384-3387	2015A1553	BL28B2	大山 順也	Time Resolved in situ DXAFS Revealing Highly Active Species of PdO Nanoparticle Catalyst for CH <sub>4</sub> Oxidation
			2014B1841	BL28B2	大山 順也	
			2016A1639	BL28B2	馬原 優治	
			2016B1756	BL28B2	馬原 優治	

### Chemical Communications

36420	Yuhei Yasukawa	54 (2018) 5003-5006	2015A1520	BL02B2	吉成 信人	Two-Step Chiral Transfer from D-Penicillamine to Metallo-supramolecular Ionic Crystals
-------	----------------	------------------------	-----------	--------	-------	--

### Chemistry - An Asian Journal

36525	Misa Nishiura	13 (2018) 1906-1910	2014B1021	BL02B1	今野 巧	Ring-to-Cage Structural Conversion via Template Effect in a Gold(I) Metallo-supramolecular System
-------	---------------	------------------------	-----------	--------	------	---

### Condensed Matter

36736	Kosuke Suzuki	3 (2018) 27	2017A1123	BL08W	鈴木 宏輔	Dependency of the Charge-Discharge Rate on Lithium Reaction Distributions for a Commercial Lithium Coin Cell Visualized by Compton Scattering Imaging
			2017B1360	BL08W	鈴木 宏輔	
			2018A1320	BL08W	鈴木 宏輔	

### Dalton Transactions

36465	Yoshifumi Sasano	46 (2017) 8924-8928	2015A0114	BL02B1	高谷 光	Deprotonated <i>meso</i> -hydroxyporphyrin as a Stable $\pi$ -Electronic Anion: the Building Unit of an Ion-Pairing Assembly
			2015A0114	BL40XU	高谷 光	

### Enzyme and Microbial Technology

研究成果番号	著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
36743	Yi-Chia Kuan	110 (2018) 14-19	2015A4001	BL12B2	Wang Wen Ching	Enantioselective Synthesis of ( <i>R</i> )-phenylephrine by <i>Serratia marcescens</i> BCRC10948 Cells that Homologously Express <i>SM_SDR</i>

### European Journal of Medicinal Chemistry

36800	Yusuke Kato	159 (2018) 23-34	2015A6537	BL44XU	真板 宣夫	Structural Basis for Potent Inhibition of D-Amino Acid Oxidase by Thiophene Carboxylic Acids
			2015B6537	BL44XU	真板 宣夫	

### European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics

36759	Kyuya Nakagawa	127 (2018) 279-287	2016B1871	BL19B2	中川 究也	Observation of Glassy State Relaxation during Annealing of Frozen Sugar Solutions by X-ray Computed Tomography
			2016A1528	BL19B2	中川 究也	

### European Polymer Journal

36473	Yuri Yamada	107 (2018) 96-104	2015A7003	BL33XU	原田 雅史	Perpendicular SiO <sub>2</sub> Cylinders Fabricated from a Self-Assembled Block Copolymer as an Adaptable Platform
			2015B7003	BL33XU	原田 雅史	

### FEBS Journal

36471	Yohei Katsuyama	285 (2018) 1540-1555	2017A2577	BL41XU	勝山 陽平	Crystal Structure of the Nitrosuccinate Lyase CreD in Complex with Fumarate Provides Insights into the Catalytic Mechanism for Nitrous Acid Elimination
-------	-----------------	-------------------------	-----------	--------	-------	---

### Frontiers in Chemistry

36760	Kyuya Nakagawa	9 (2018) 00418	2017B1596	BL14B2	中川 究也	Observation of Microstructure Formation During Freeze-Drying of Dextrin Solution by <i>in-situ</i> X-ray Computed Tomography
			2016B1871	BL19B2	中川 究也	
			2016A1528	BL19B2	中川 究也	

### Geochimica et Cosmochimica Acta

36452	Yusuke Tamenori	237 (2018) 357-369	2013B1122	BL27SU	為則 雄祐	Sulfur Speciation in Growth Layers of Shell Cross Section of the Long-Lived Bivalve <i>Margaritifera laevis</i> using Synchrotron Spectromicroscopy Analysis
			2014A1909	BL27SU	為則 雄祐	
			2014B1054	BL27SU	為則 雄祐	
			2015B1116	BL27SU	為則 雄祐	

### Glycobiology

36686	Yuichi Nishitani	28 (2018) 418-426	2015B1038	BL38B1	三木 邦夫	Crystal Structures of an Archaeal Chitinase ChiD and its Ligand Complexes
-------	------------------	----------------------	-----------	--------	-------	---

### High Pressure Research

36447	Yusaku Takubo	(2018) Published online 24 July 2018	2016A3787	BL22XU	寺崎 英紀	Variations of Lattice Constants and Thermal Expansion Coefficients of Indium at High Pressure and High Temperature
			2017B3782	BL22XU	寺崎 英紀	

### Hyperfine Interactions

36732	Masayuki Kurokuzu	239 (2018) 9	2009A0086	BL09XU	瀬戸 誠	<sup>57</sup> Fe Nuclear Resonant Inelastic Scattering of Fe <sub>1.7</sub> Te
			2011A3501	BL11XU	三井 隆也	
			2011B3501	BL11XU	三井 隆也	

### Industrial & Engineering Chemistry Research

36497	Yuji Higaki	57 (2018) 5268-5275	2015B1313	BL43IR	高原 淳	Counteranion-Specific Hydration States of Cationic Polyelectrolyte Brushes
			2016A1329	BL43IR	檜垣 勇次	
			2016B1703	BL43IR	犬塚 仁浩	
			2017A1753	BL43IR	池本 夕佳	

### International Journal of Pharmaceutics

36417	Tomoka Fushimi	548 (2018) 192-205	2015A1387	BL40B2	内野 智信	Development of Phospholipid Nanoparticles Encapsulating 3-O-Cetyl Ascorbic Acid and Tocopherol Acetate (TA-Cassome) for Improving Their Skin Accumulation
			2017A1160	BL40B2	内野 智信	
			2017A1348	BL40B2	内野 智信	

IUCrJ

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
36650	Nicole Woitowitch	5 (2018) 619-634	2016B8005	BL3	Schmidt Marius	Structural Basis for Light Control of Cell Development Revealed by Crystal Structures of a Myxobacterial Phytochrome

Journal of Alloys and Compounds

36490	Syeda U. Mehreen	766 (2018) 1003-1013	2014B1620	BL20XU	野北 和宏	Suppression of Cu <sub>3</sub> Sn in the Sn-10Cu Peritectic Alloy by the Addition of Ni
			2015A1675	BL20XU	野北 和宏	
			2012A1192	BL20B2	野北 和宏	

Journal of Applied Crystallography

36432	Kouji Sakaki	51 (2018) 796-801	2016A3788	BL22XU	榑 浩司	Development of an <i>in situ</i> Synchrotron X-ray Total Scattering Setup under Pressurized Hydrogen Gas
			2014B3784	BL22XU	榑 浩司	
			2012B3703	BL22XU	町田 晃彦	
			2012B3787	BL22XU	Kim Hyunjeong	
			2013A3703	BL22XU	町田 晃彦	
			2013A3787	BL22XU	Kim Hyunjeong	
			2013B3703	BL22XU	町田 晃彦	
			2013B3783	BL22XU	Kim Hyunjeong	
			2014A3703	BL22XU	町田 晃彦	
			2014A3785	BL22XU	Kim Hyunjeong	
			2014B3703	BL22XU	町田 晃彦	
			2015A3703	BL22XU	町田 晃彦	
			2015A3784	BL22XU	Kim Hyunjeong	
			2015B3703	BL22XU	町田 晃彦	
2015B3786	BL22XU	Kim Hyunjeong				
2016A3753	BL22XU	町田 晃彦				
2016B3751	BL22XU	町田 晃彦				

Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena

36498	Xinchao Huang	226 (2018) 41-44	2014A4261	BL12XU	Zhu LinFan	Elastic Squared Form Factor and Binding Effect of Carbon Dioxide Studied by the High Resolution X-ray Scattering
			2016A4265	BL12XU	Zhu LinFan	

Journal of Fiber Science and Technology

36678	Kazuyuki Suzuta	72 (2016) 1-8	2012B1385	BL43IR	伊藤 廉	Evaluation of Cysteic Acid in Bleached Hair Using Infrared Spectroscopy
			2014A1563	BL43IR	伊藤 廉	
			2014B1591	BL43IR	伊藤 廉	
			2015A1654	BL43IR	渡邊 紘介	

Journal of Geophysical Research

36529	Shigehiko Tateno	123 (2018) 5515-5531	2009A0087	BL10XU	廣瀬 敬	Melting Phase Relations and Element Partitioning in MORB to Lowermost Mantle Conditions
-------	---------------------	-------------------------	-----------	--------	------	---

Journal of Hazardous Materials

36516	Kouhei Tokunaga	359 (2018) 307-315	2017B1219	BL01B1	徳永 紘平	A New Technique for Removing Strontium from Seawater by Coprecipitation with Barite
-------	--------------------	-----------------------	-----------	--------	-------	---

Journal of Medicinal Chemistry

36633	Rocio Otero	61 (2018) 6658-6673	2014B1947	BL26B1	沼本 修孝	25 S-Adamantyl-23-yne-26,27-dinor-1 $\alpha$ ,25-dihydroxyvitamin D <sub>3</sub> : Synthesis, Tissue Selective Biological Activities, and X-ray Crystal Structural Analysis of Its Vitamin D Receptor Complex
-------	-------------	------------------------	-----------	--------	-------	---

Journal of Mineralogical and Petrological Sciences

36441	Ryota Abe	113 (2018) 106-111	2016B1704	BL04B1	阿部 涼太	In situ X-ray Diffraction Studies of Hydrus Aluminosilicate at High Pressure and Temperature
-------	-----------	-----------------------	-----------	--------	-------	--

Journal of Molecular Biology

36639	Daisuke Hira	430 (2018) 1189-1200	2016A6636	BL44XU	平 大輔	Anammox Organism KSU-1 Expresses a Novel His/DOPA Ligated Cytochrome c
			2016B6636	BL44XU	平 大輔	
			2012A6751	BL44XU	山縣 ゆり子	
			2012B6735	BL44XU	中村 照也	
			2014A6957	BL44XU	山縣 ゆり子	



### Journal of Molecular Liquids

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
36719	Keisuke Matsuoka	260 (2018) 131-137	2013B1497	BL40B2	吉村 倫一	Solubilization Ability of <i>N,N</i> -Dimethyl- <i>N</i> -Alkyladamantylammonium Bromide

### Journal of Oleo Science

36428	Hiroshi Takahashi	67 (2018) 905-915	2015A1656	BL40B2	高橋 浩	Thermal-History-Dependent Phase Behavior of Ceramide Molecular Assembly in a UV-Curable Acrylic Adhesive Resin
-------	-------------------	----------------------	-----------	--------	------	--

### The Journal of Organic Chemistry

36464	Yoshifumi Sasano	82 (2017) 11166-11172	2015A1388	BL40XU	高谷 光	H-Aggregated $\pi$ -Systems Based on Disulfide-Linked Dimers of Dipyrolydione Boron Complexes
			2017A1322	BL40XU	前田 大光	

### The Journal of Physical Chemistry B

36770	Satoshi Ajito	122 (2018) 8685-8697	2016B1381	BL40B2	平井 光博	Sugar-Mediated Stabilization of Protein against Chemical or Thermal Denaturation
			2017A1435	BL40B2	平井 光博	

### Journal of Statistical Physics

36771	Ondrej Sedivy	172 (2018) 1223-1246	2012A1427	BL20XU	Krill Carl	Data-Driven Selection of Tessellation Models Describing Polycrystalline Microstructures
			2013A1506	BL20XU	Krill Carl	

### Journal of Synchrotron Radiation

36725	Yoshinori Kotani	25 (2018) 1444-1449	2014A0079	BL25SU	白土 優	Realization of a Scanning Soft X-ray Microscope for Magnetic Imaging under High Magnetic Fields
			2014B1008	BL25SU	廣澤 哲	
			2015A1009	BL25SU	廣澤 哲	
			2015A2042	BL25SU	小谷 佳範	
			2015B1016	BL25SU	廣澤 哲	
			2015B1998	BL25SU	小谷 佳範	

### Journal of X-Ray Science and Technology

36762	Tsukasa Nakano	26 (2018) 691-705	2001B0501	BL20B2	中島 善人	Analytical Expressions for the Reconstructed Image of a Homogeneous Cylindrical Sample Exhibiting a Beam Hardening Artifact in X-ray Computed Tomography
-------	----------------	----------------------	-----------	--------	-------	--

### Lunar and Planetary Science Conference

36517	Masashi Shidare	49 (2018) LPI Contrib. No. 2083	2015B1120	BL27SU	白井 寛裕	Sulfur K-Edge XANES Analyses of Shergottites: Implication for Aqueous Alteration Processes on Mars
			2016A1294	BL27SU	白井 寛裕	
			2016B1538	BL27SU	白井 寛裕	
			2017A1245	BL27SU	白井 寛裕	

### Materials Transactions

36648	Naoko Oono	59 (2018) 1651-1658	2014B1666	BL19B2	大野 直子	Precipitation of Oxide Particles in Oxide Dispersion Strengthened (ODS) Ferritic Steels
-------	------------	------------------------	-----------	--------	-------	---

### Metals

36445	Tomoya Suzuki	8 (2018) 558-567	2015A3515	BL11XU	成田 弘一	Speciation of Ruthenium(III) Chloro Complexes in Hydrochloric Acid Solutions and Their Extraction Characteristics with an Amide-Containing Amine Compound
			2016B3512	BL11XU	成田 弘一	
			2017B3531	BL11XU	鈴木 智也	

### Microscopy Today

36544	Rino Saiga	26 (2018) 58	2014B1096	BL20B2	水谷 隆太	Toxicity of Visible Light Follows a Rule Similar to that for X-Ray Damage
			2017B1120	BL20B2	水谷 隆太	

### Nano Letters

36664	Tomotaka Oroguchi	18 (2018) 5192-5197	2016A8048	BL3	中迫 雅由	Growth of Cuprous Oxide Particles in Liquid-Phase Synthesis Investigated by X-ray Laser Diffraction
			2016B8064	BL3	中迫 雅由	
			2017A8015	BL3	中迫 雅由	
			2017B8003	BL2	中迫 雅由	

### Nanoscale

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
36738	Enju Sakai	8 (2016) 18893-18896	2015A7402	BL07LSU	尾嶋 正治	Investigation of the Enhanced Photocathodic Activity of $\text{La}_5\text{Ti}_2\text{CuS}_5\text{O}_7$ Photocathodes in $\text{H}_2$ Evolution by Synchrotron Radiation Nanospectroscopy

### Nature Materials

36536	Kenta Kuroda	16 (2017) 1090-1095	2016B1262	BL25SU	近藤 猛	Evidence for Magnetic Weyl Fermions in a Correlated Metal
			2016A1296	BL25SU	近藤 猛	
			2015B2002	BL25SU	室 隆桂之	

### Nature Structural and Molecular Biology

36439	Hidetsugu Asada	25 (2018) 570-576	2013B1092	BL32XU	浅田 秀基	Crystal Structure of the Human Angiotensin II Type 2 Receptor Bound to an Angiotensin II Analog
			2014B1355	BL32XU	浅田 秀基	
			2015A1044	BL32XU	浅田 秀基	
			2013A1514	BL32XU	田中 良樹	

### Organic Electronics

36693	Kohei Yamamoto	63 (2018) 47-51	2017A1699	BL19B2	山本 晃平	Molecular Orientation Control of Semiconducting Molecules using a Metal Layer Formed by Wet Processing
			2017B1743	BL19B2	久住 拓司	
			2017A0136	BL46XU	宮寺 哲彦	

### Organic Letters

36862	Shunsuke Kaname	20 (2018) 3268-3272	2015A0114	BL40XU	高谷 光	Cyclic Anion-Responsive $\pi$ -Electronic Molecules That Overcome Energy Losses Induced by Conformation Changes
			2017A1322	BL40XU	前田 大光	
			2017A1676	BL02B1	笹野 力史	

### Photochemical and Photobiological Sciences

36712	Tomomi Tatebe	17 (2018) 1153-1156	2016A1464	BL01B1	神谷 和秀	Photo-Induced Direct Interfacial Charge Transfer at $\text{TiO}_2$ Modified with Hexacyanoferrate(III)
			2016B1098	BL01B1	神谷 和秀	
			2016B1696	BL01B1	岩瀬 和至	
			2017A1790	BL14B2	岩瀬 和至	
			2017B1171	BL01B1	神谷 和秀	
2018A1349	BL01B1	原田 隆史				

### Physica B

36679	Kazuo Yano	515 (2017) 118-125	2010B3835	BL23SU	岡根 哲夫	Element Specific Electronic States and Spin-Flip-Like Behavior of Ce in $(\text{Ce}_{0.2}\text{Gd}_{0.8})\text{Ni}$ Composed of Heavy Fermion CeNi and Ferri-Magnet GdNi through XMCD Method
			2011B3822	BL23SU	岡根 哲夫	

### Physica Status Solidi B

36524	Artoni Ang	(2018) Online published 20 June 2018	2016A1391	BL39XU	佐々木 裕次	Direct Imaging of Valence Sensitive X-ray Fluorescence Holograms of $\text{Fe}_3\text{O}_4$
			2016B1328	BL39XU	佐々木 裕次	
			2017A1137	BL39XU	佐々木 裕次	

### Physical Review Materials

36651	Adel Kalache	2 (2018) 084407	2015A4910	BL15XU	Fecher Gerhard	Tunable Magnetic Properties in Tetragonal Mn-Fe-Ga Heusler Films with Perpendicular Anisotropy for Spintronics Applications
-------	--------------	--------------------	-----------	--------	----------------	---

### Physical Review X

36492	Yoshiaki Kumagai	8 (2018) 031034	2015B8057	BL3	上田 潔	Following the Birth of a Nanoplasma Produced by an Ultrashort Hard-X-Ray Laser in Xenon Clusters
-------	------------------	--------------------	-----------	-----	------	--

### PLoS One

36684	Hiraku Ohno	12 (2017) e0178183	2010A1237	BL41XU	竹田 一旗	Crystallographic Characterization of the High-Potential Iron-Sulfur Protein in the Oxidized State at 0.8 Å Resolution
			2010B1284	BL41XU	竹田 一旗	
			2015B1037	BL41XU	竹田 一旗	

### Polymer

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
36710	Kohji Tashiro	153 (2018) 474-484	2016B1439	BL02B1	田代 孝二	Study of Phase Transition and Ultimate Mechanical Properties of Orthorhombic Polyoxymethylene Based on the Refined Crystal Structure
			2016A1145	BL02B1	田代 孝二	
			2017A1056	BL02B1	田代 孝二	

### Procedia Manufacturing

36772	Masakazu Kobayashi	15 (2018) 161-167	2016A1061	BL20XU	小林 正和	Development of Internal Inhomogeneous Plastic Strain during Cold Rolling of Al-Mg Alloys
			2017B1132	BL20XU	小林 正和	

### Proceedings of 2018 International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT)

36408	Keiji Umetani	(2018) 22	2015A2062	BL28B2	梅谷 啓二	Large Lung Specimen Imaging Full-Field Micro-CT Using a High-Megapixel Single Lens Reflex Camera and Synchrotron Radiation
			2015B1961	BL28B2	梅谷 啓二	
			2016A1334	BL20B2	梅谷 啓二	

### Protocol Exchange

36545	Rino Saiga	(2018) Published online 9 Aug. 2018	2006B1716	BL20XU	水谷 隆太	Preparation of Soft Tissue Samples for Synchrotron Radiation Microtomography and Nanotomography
			2007A1844	BL20XU	水谷 隆太	
			2007A2072	BL20B2	水谷 隆太	
			2007B1102	BL20XU	水谷 隆太	
			2007B1894	BL20B2	水谷 隆太	
			2008A1190	BL47XU	水谷 隆太	
			2008B1261	BL47XU	水谷 隆太	
			2009A1113	BL20XU	水谷 隆太	
			2009B1191	BL20XU	水谷 隆太	
			2011A0034	BL20XU	水谷 隆太	
			2011A0034	BL47XU	水谷 隆太	
			2013B1889	BL26B2	水谷 隆太	
			2014A1057	BL37XU	水谷 隆太	
			2014B1083	BL20XU	水谷 隆太	
			2014B1096	BL20B2	水谷 隆太	
			2015A1160	BL20XU	水谷 隆太	
2015B1101	BL20XU	水谷 隆太				
2016B1041	BL20XU	水谷 隆太				
2017A1143	BL37XU	水谷 隆太				
2017B1120	BL20B2	水谷 隆太				

### Radiation Protection Dosimetry

36721	Akira Takeda	167 (2015) 181-186	2012B1962	BL14B2	高久 雄一	Changes in the Chemical Form of Exogenous Iodine in Forest Soils and Their Extracts
-------	--------------	-----------------------	-----------	--------	-------	---

### Review of Scientific Instruments

36722	Zhe Zhang	89 (2018) 096106	2017A3738	BL22XU	西村 博明	A Laue Crystal Imager for High Energy Quasi-Monochromatic X-ray
-------	-----------	---------------------	-----------	--------	-------	---

### Royal Society Open Science

36798	Shinobu Aoyagi	5 (2018) 180337	2013A0100	BL02B1	青柳 忍	Structure of [60]fullerene with a Mobile Lithium Cation Inside
			2017A1206	BL02B1	青柳 忍	
			2016B1432	BL02B1	青柳 忍	

### Science

36864	Wenyan Liu	351 (2016) 582-586	2015A1142	BL40B2	田川 美穂	Diamond Family of Nanoparticle Superlattices
-------	------------	-----------------------	-----------	--------	-------	--

### Science Society of America Journal

36720	Akira Takeda	82 (2018) 815-825	2014A1749	BL14B2	武田 晃	Distribution and Speciation of Bromine and Iodine in Volcanic Ash Soil Profiles
-------	--------------	----------------------	-----------	--------	------	---

### Solid State Ionics

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
36709	Naoya Ishida	325 (2018) 209-213	2016A1509	BL19B2	井手本 康	Average and Local Structure Analysis of Metastable $\text{Li}_x\text{Mn}_{0.9}\text{Ti}_{0.1}\text{O}_2$ by Synchrotron X-ray and Neutron Sources
			2016B1859	BL19B2	井手本 康	
			2015B1576	BL14B2	井手本 康	
			2016A1510	BL14B2	井手本 康	
			2016B1852	BL14B2	井手本 康	
			2016B1365	BL04B2	井手本 康	
2015B1582	BL19B2	井手本 康				

### Surface and Interface Analysis

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
36430	Jens Rüdiger Stellhorn	50 (2018) 790-794	2015B4129	BL12B2	細川 伸也	Temperature-Dependent Local Atomic Structures in the Traditional $\text{Fe}_{65}\text{Ni}_{35}$ Invar Alloy by X-ray Fluorescence Holography
			2016A4141	BL12B2	細川 伸也	
			2016B4130	BL12B2	細川 伸也	
			2014B1187	BL39XU	細川 伸也	

### 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
36462	Eiji Ikenaga	31 (2018) 10-15	2013A1369	BL47XU	池永 英司	Hard X-ray Photoemission Spectroscopy at Two Public Beamlines of SPring-8: Current Status and Ongoing Developments
			2013B1463	BL47XU	池永 英司	
			2014A1253	BL47XU	池永 英司	
			2014B1283	BL47XU	池永 英司	
			2015A1474	BL47XU	池永 英司	
			2015B1400	BL47XU	池永 英司	
			2015B1932	BL09XU	池永 英司	
			2016A1276	BL09XU	三村 功次郎	
2012B1446	BL47XU	池永 英司				

### Topics in Catalysis

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
36415	Okii Sekizawa	61 (2018) 889-901	2013A7802	BL36XU	岩澤 康裕	Key Structural Transformations and Kinetics of Pt Nanoparticles in PEFC Pt/C Electrocatalysts by a Simultaneous Operando Time-Resolved QXAFS-XRD Technique
			2013B7806	BL36XU	岩澤 康裕	
			2014A7801	BL36XU	岩澤 康裕	
			2014A7805	BL36XU	岩澤 康裕	
			2014B7801	BL36XU	岩澤 康裕	
			2014B7803	BL36XU	岩澤 康裕	
			2015A7803	BL36XU	岩澤 康裕	
			2015A7805	BL36XU	岩澤 康裕	
			2015A7840	BL36XU	岩澤 康裕	
			2015B7801	BL36XU	岩澤 康裕	
			2015B7803	BL36XU	岩澤 康裕	
			2015B7805	BL36XU	岩澤 康裕	
			2015B7840	BL36XU	岩澤 康裕	
			2016A7801	BL36XU	岩澤 康裕	
			2016A7802	BL36XU	岩澤 康裕	
			2016A7803	BL36XU	岩澤 康裕	
			2016A7840	BL36XU	岩澤 康裕	
			2016B7801	BL36XU	岩澤 康裕	
			2016B7803	BL36XU	岩澤 康裕	
			2016B7806	BL36XU	岩澤 康裕	
2016B7840	BL36XU	岩澤 康裕				
2017A7801	BL36XU	岩澤 康裕				
2017A7803	BL36XU	岩澤 康裕				
2017A7806	BL36XU	岩澤 康裕				
2017A7841	BL36XU	岩澤 康裕				

### Transactions of the Materials Research Society of Japan

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
36468	Haruki Yamane	43 (2018) 213-217	2016A1226	BL47XU	山根 治起	Perpendicular Magnetic Properties of [CoPt/AZO/Ag] Multilayered Films for Magneto-Optical Chemical Sensing Applications

### Tribology Letters

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
36627	Takashi Izumi	66 (2018) 120	2014B7021	BL33XU	山口 聡	Surface Deteriorations During Scuffing Process of Steel and Analysis of their Contribution to Wear Using In Situ Synchrotron X-Ray Diffraction and Optical Observations
			2013B7021	BL33XU	林 雄二郎	
			2015B7021	BL33XU	泉 貴士	

コンクリート工学年次論文集 (Proceedings of the Japan Concrete Institute)

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
36460	Hayato Takahashi	40 (2018) 1017-1022	2016A1532	BL28B2	杉山 隆文	Study on Alteration of Mortar under High Temperatures by Non-Destructive Integrated CT-XRD Method
			2017A1009	BL28B2	杉山 隆文	
			2017B1021	BL28B2	杉山 隆文	
			2014B1587	BL28B2	梶原 堅太郎	
			2015A1680	BL28B2	梶原 堅太郎	
2015B1608	BL28B2	梶原 堅太郎				

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

36765	Akihiro Maeda	49 (2018) 856-861	2015A1847	BL19B2	鳥塚 史郎	Analysis on the Mechanism of Strength-Ductility Enhancement by the Addition of 5% Mn in 0.1%C-2%Si-Mn Fresh Martensitic Steel with Synchrotron Radiation
			2016A1033	BL46XU	鳥塚 史郎	
			2016A4902	BL15XU	鳥塚 史郎	
			2016B4905	BL15XU	鳥塚 史郎	
			2017A1706	BL19B2	鳥塚 史郎	

新電池構想部会 リチウムイオン電池の現状と今後特集号

36764	Toru Sukigara	94 (2015)	2015A4902	BL15XU	鋤柄 宜	Current Status and Future Prospects of Automobile Li Ion Battery
-------	---------------	-----------	-----------	--------	------	--

生物の科学 遺伝 (Seibutu no Kagaku Iden)

36453	Yusuke Tamenori	72 (2018) 241-248	2007B1862	BL37XU	長谷川 浩	The Behavior of Trace Elements in Biogenic Carbonate Minerals of Precious Coral
			2015B1116	BL27SU	為則 雄祐	
			2016A1833	BL08W	為則 雄祐	
			2016B1132	BL27SU	為則 雄祐	
			2017A1745	BL02B2	為則 雄祐	
2014B1337	BL27SU	長谷川 浩				

日本原子力学会和文論文誌 (Transactions of the Atomic Energy Society of Japan)

36852	Yoshihiro Okamoto	16 (2017) 180-190	2015B3504	BL11XU	塩飽 秀啓	Chemical State Analysis of Rhodium in Simulated Waste Glass by Synchrotron-Radiation-Based XAFS and Imaging XAFS Techniques
-------	-------------------	----------------------	-----------	--------	-------	---

薬剤学 (Journal of Pharmaceutical Science and Technology, Japan)

36640	Len Ito	78 (2018) 25-27	2015A1660	BL43IR	伊藤 廉	Visualization of Cosmetic Ingredients Penetrating into Hair by Using a Synchrotron Radiation Infrared Microscopic Mapping Method
			2014B1591	BL43IR	伊藤 廉	
			2015B1568	BL43IR	伊藤 廉	
			2016A1507	BL43IR	伊藤 廉	

冷凍 (Refrigeration)

36519	Junko Nonaka	93 (2018) 219-223	2015A1852	BL46XU	村勢 則郎	Research of The Quality Degradation of The Frozen Pasta during Frozen Storage Period
			2015B1782	BL19B2	入江 謙太郎	
			2015B1924	BL46XU	村勢 則郎	
			2016A1784	BL46XU	村勢 則郎	
			2016A1811	BL19B2	入江 謙太郎	
2016B1867	BL19B2	野中 純子				

博士論文 (京都大学)

36801	Jing Yang	(2018)	2015B1824	BL37XU	高岡 昌輝	Field Study on Mercury Behavior in Landfill Site
36802	Takashi Sasaki	(2017)	2015B1830	BL01B1	高岡 昌輝	Catalyst Technology for Carbon Dioxide Reduction in Integrated Coal Gasification Combined Cycle with High Efficiency

博士論文 (金沢大学)

36425	Kohei Yamamoto	(2018)	2017A1699	BL19B2	山本 晃平	Research and Development of New Fabrication Methods for High Performance Perovskite Solar Cells
			2016B1632	BL46XU	大橋 昇	
			2016B1784	BL46XU	鳥屋部 果穂	
			2016B1861	BL46XU	宮寺 哲彦	
			2017A0136	BL46XU	宮寺 哲彦	

博士論文 (関西学院大学)

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
36479	Tomokazu Sakamoto	(2017)	2016B3630	BL14B1	坂本 友和	Development of Hydrazine Oxidation Catalysts for Anion Exchange Membrane Fuel Cells by Hydrazine Hydrate as a Liquid Fuel
			2016A3616	BL14B1	坂本 友和	
			2015B3616	BL14B1	坂本 友和	
			2015A3616	BL14B1	坂本 友和	
			2014B3619	BL14B1	坂本 友和	
			2014A3616	BL14B1	坂本 友和	
			2013B3616	BL14B1	坂本 友和	
2010B2046	BL14B2	坂本 友和				

博士論文 (東京大学)

36522	Delyana Vasileva	(2018)	2017A2574	BL26B1	水口 千穂	Plasmid-host Functional Interaction Network: Global Proteome Dynamics and Molecular Analysis of H-NS Family Proteins
-------	------------------	--------	-----------	--------	-------	--

博士論文 (東北大学)

36423	Jinhyeok Kim	(2018) 1-108	2014B4905	BL15XU	水口 将輝	Experimental Studies on Magnetic Properties and Electronic Structures in Mn-based Ordered Alloys
			2015A4908	BL15XU	水口 将輝	
			2015B4909	BL15XU	水口 将輝	
			2016A4907	BL15XU	水口 将輝	
			2016B4909	BL15XU	水口 将輝	
2017A4909	BL15XU	水口 将輝				

博士論文 (鳥取大学)

36624	Toru Inagaki	(2018)	2017A1819	BL14B2	石垣 雅	生体イメージング用近赤外ナノ蛍光体に関する基礎研究
-------	--------------	--------	-----------	--------	------	---------------------------

博士論文 (名古屋工業大学)

36440	Masanori Usui	(2018) 1-90	2016B7012	BL33XU	木村 英彦	Effect Analysis of Electrical, Mechanical and Thermal Stresses on Power Modules for Automobiles
			2016A7012	BL33XU	木村 英彦	
			2015A7012	BL33XU	木村 英彦	
			2015B7012	BL33XU	木村 英彦	

博士論文 (奈良先端科学技術大学院大学)

36470	Takuya Okabe	(2018)	2017B1817	BL46XU	山口 裕二	Interior and Exterior Shaping of Organic Molecular Dyes for Optoelectronic Applications
-------	--------------	--------	-----------	--------	-------	---

博士論文 (兵庫県立大学)

36477	Nobumoto Nagasawa	(2018)	2010B1517	BL10XU	小林 寿夫	Electronic States of Transition-Metal Oxides using Atom-Selective Experimental Technique
			2016B1396	BL10XU	小林 寿夫	
			2015B4261	BL12XU	小林 寿夫	
			2016A4258	BL12XU	小林 寿夫	
			2016B4268	BL12XU	小林 寿夫	

博士論文 (山形大学)

36630	Junichirou Tateishi	(2017)	2015A3267	BL24XU	立石 純一郎	Study on Mechanism of Cellular Structure Formation during One-Shot Chemical Foaming Process
			2015B3267	BL24XU	立石 純一郎	
			2016A3267	BL24XU	立石 純一郎	

課題以外の成果として登録された論文

ACS Nano

研究成果番号	主著者	雑誌情報		ビームライン	タイトル
36463	Zhibin Sun	12 (2018) 7509-7518	SACLA		Necessary Experimental Conditions for Single-Shot Diffraction Imaging of DNA-Based Structures with X-ray Free-Electron Lasers

Journal of Biological Macromolecules

36838	Michihiro Sugahara	18 (2018) 15-22	SACLA		Microcrystal-Carrier Matrices for Serial Crystallography
-------	--------------------	--------------------	-------	--	--

**Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena**

研究成果番号	主著者	雑誌情報		ビームライン	タイトル
36805	Shin-ichi Fujimori	208 (2016) 105-110		BL23SU	Recent Progress of Soft X-ray Photoelectron Spectroscopy Studies of Uranium Compounds

**Physical Review Special Topics - Accelerators and Beams**

36680	Ichiro Inoue	21 (2018) 080704	XFEL		X-ray Hanbury Brown-Twiss Interferometry for Determination of Ultrashort Electron-Bunch Duration
-------	--------------	---------------------	------	--	--

**Vacuum**

36429	Sunao Takahashi	155 (2018) 325-335	フロントエンド		Prediction of Vacuum Deterioration Caused by Vacuum Accident in the Beamline
-------	--------------------	-----------------------	---------	--	--

**博士論文 (電気通信大学)**

36855	Keiichi Shinbe	(2018)	その他		Analysis of Evaluation Criteria for Leading to Maximize Academic and Social Impact on the Scientific and Technological Outcomes in a Shared Facility
-------	-------------------	--------	-----	--	--

## 2018A 期における SPring-8/SACLA ユーザー要望等について

登録施設利用促進機関

公益財団法人高輝度光科学研究センター  
利用推進部

SPring-8 及び SACLA では、各ビームタイム終了後に実験グループごとに「ビームタイム利用報告書」を提出いただいております。この報告書には、その実験の概要、次回の利用者へのアドバイスや施設に対する要望、提案等を記入いただいております。

2018A 期における要望等の状況は下記のとおりです。これら要望等と、それに対する施設側の回答（内容により、必ずしも全てではありません）につきましては、User Information で公開されています。

### 1. 2018A 期 要望等全体概要

2018A 期	実施 課題数	利用実験数 (報告書数)	うち、要望等コメントがある <sup>*1</sup> 報告書数		
			技術的 要望等	施設他 要望等	その他 (お礼)
SPring-8 共用 BL	755	1,118	74	66	103
SACLA 共用 BL	55	57	11		

\*1 「なし」「None」等のコメントを除く。

#### <SPring-8 共用 BL 技術的要望等 (計 74 件) の研究分野/手法<sup>\*2</sup> 別内訳 >

分野 手法	生命科学 医学応用	物質科学 材料科学	化学	地球・ 惑星化学	環境科学	産業利用	その他
X線回折	10	8	11	2			2
X線散乱		4	1				3
X線非弾性散乱		5					1
X線・軟X線 吸収分光	1	7	1	2			3
光電子分光		4					1
X線イメージ ング					1	4	1
特殊環境実験				2			

\*2 課題申請時の利用者申告ベース。

### 2. 2018A 期 要望等の内容 (一部抜粋)

#### (1) 技術的要望等

○新しい検出器 (Eiger 16M) になったが、BSS の仕様が追いついていないようである。同じ結晶から異なる 2 箇所での測定を試み、従来通り 1 箇所目を #101-200、2 箇所目を #201-300 とファイル

番号を指定してそれぞれ測定を行った。だが、格納された h5 ファイルでは両方共に #1-100 となってしまう、同一の名前の異なるファイルが 2 種類できてしまい混乱を招いた (Eiger 16M でのファイルのナンバリングは測定毎に必ず #1 から始まるようであり、そもそもナンバリングを自分で設定すること自体に意味がないようである)。幸い、データのサーバーへのアップロードの際に、上書きを回避する機構が働いたので、データ自体はレスキューされていたので、大きな問題にはならなかったが、改善を願いたい。

#### 【生命科学/X線回折】

○本実験では、ループに散在した多数の微結晶から連続的に XAFS を測定する実験を行った。測定毎にセンタリングとジョブの入力が必要になるため、単純な実験に関わらず頻繁に入力が必要なため大変な実験となっていた。そこで、事前に複数箇所の座標を登録し、測定ではその座標に順に自動的に移動して、同じ XAFS 測定のジョブを繰り返す仕組みの導入を要望としてご提案します。具体的には、BSS のアドバンスドモード測定に実装されているマルチセンタリングで座標を登録して、回折像を順に撮影するのではなく、XAFS 測定を、位置を変えて順に実行できればと思っております。

#### 【生命科学/X線回折】

○検出器の素子が、ひとつ具合が悪いようです。全体的に分解能も落ちているようです。整備を望みます。また、超伝導マグネットの部品の具合がわるいようです。整備を望みます。

#### 【物質科学・材料科学/X線非弾性散乱】

○クイックスキャン測定において、測定範囲を変えると XANES のエッジエネルギーがシフトしてしまうことに気づいた。測定範囲を一定にしてい



ば問題ないことを確認している。モノクロメータの不調によるものと思われる（モノクロメータが再現よく動かない）。測定を行う上で致命的なので改善して欲しい。

【物質科学・材料科学/X線・軟X線吸収分光】

- BL02B1 に今年度から導入された半導体二次元検出器 (DECTRIS PILATUS 3X) を初めて使用しました。シャッターレス測定モードでは、短時間で計測ができるので、同一試料で圧力変化など外場条件を変化させたデータが連続的に測定可能となると思いました。さらに使い勝手が良くなるようなユーザーインターフェースの整備をお願いいたします。

【化学/X線回折】

- BL40XUで今期より利用可能となったEigerX1M検出器が、極微小結晶の迅速測定に非常に大きな威力を発揮することを実感できました。Eigerが書き出すDectrisの画像ファイル形式は、読み込むためにフォーマット変換の必要があり、ビームライン担当者のご尽力で開発された変換プログラムを使用することで、画像データの取り扱いが可能となります。現況ではこの変換が必須であり、変換プログラム開発のご苦勞をお察し致しますと共に感謝申し上げます。Eigerによるデータ処理周りのソフトウェアはさらなる改善が必要で、今後、より汎用性の高いフォーマット形式に簡便に変換することができれば、施設外（大学等）で再度積分をしたり検討したりすることが可能となり、より威力を発揮するものと思われます。指数付けや積分するための利用実績と信頼度の高いソフトウェア (APEX3 など) をビームラインで利用できるようになると、その場での結晶格子定数の決定等が行えるようになり、より一層効果的に Eiger を迅速測定に使用できることとなると思います。

【化学/X線回折】

- モノクロ結晶まわりで不調があるようで、入射強度と透過強度の比が一定にならない症状が2時間程度続き、実験に差支えが出ている。改善を要望する。

【地球・惑星科学/X線回折】

- CT-XRD-CTの切り替えが早くなると素晴らしいです。

【産業利用/X線イメージング】

- サンプルが多いため小角散乱データの透過率補正やバックグラウンド補正等のデータ処理にかなり時間と労力を使っており、これが自動的にできるとスムーズに解析、考察に入れるのに、と利用のたびに思っている。そういうソフトやエクセル、IGORのマクロがあれば紹介いただけるとよいと思う。

【産業利用/X線散乱】

## (2) 施設その他要望等

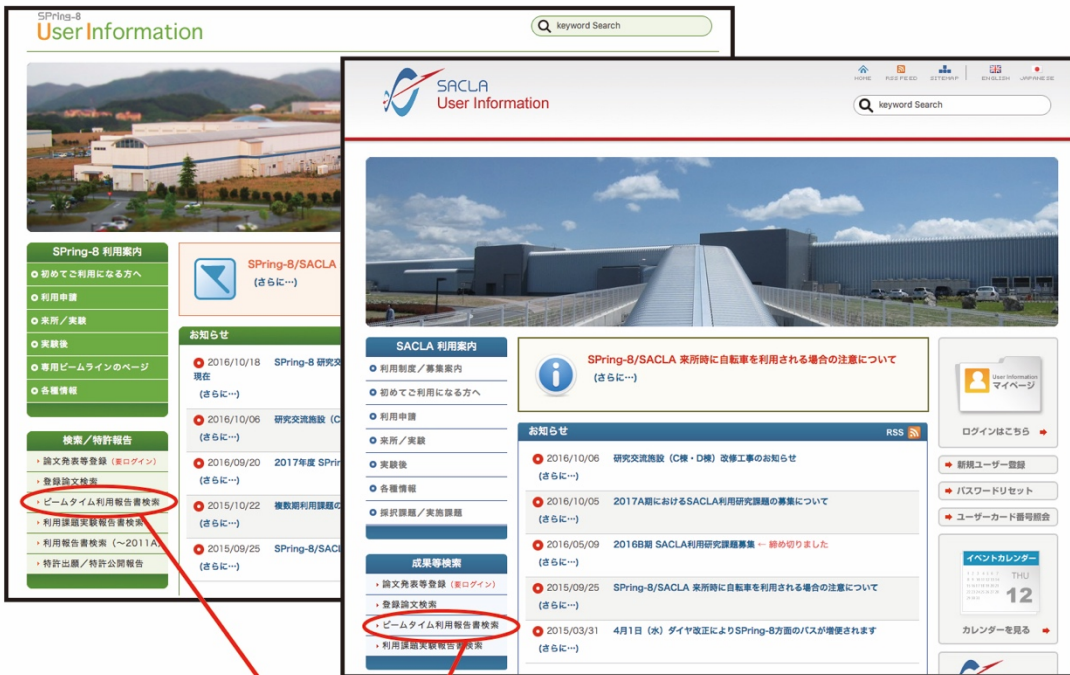
- 高圧ガスは基本的に使わないので講習を免除していただくと助かります。また、講習開始時間についてですが、測定当日の来所のため、交通機関の都合から昨年のように講習開始9時15分からがあるところとちょうど10時くらいから測定にかかれるのでご検討いただければと思います。
- 本実験中2回目のビームアバウト発生の際には音声によるアナウンスが一切なかった。また、chatにも何も情報がなく、運転状況のステータスも入射中になっているのみで、状況が全く把握できなかった。原因調査中でも良いので、何らかのアナウンスをして頂ければ、実験計画を検討する際の参考にもなりますし、精神的にも助かります。
- 蓄積リング棟内の移動用自転車が、ハンドルが曲がっていたりブレーキが効きづらい自転車があったり危険なので改善していただきたいです（自転車はあった方がいいと思っています。完全に撤去してほしいわけではありません）。
- 共同実験者が各自で交流棟の宿泊予約をできるようにして欲しいです。
- 北管理棟は距離があるため、来所の手続きも中央管理棟で行えるようにしてほしい。
- 夜、実験棟から研究交流施設までが暗すぎる。
- コピー機が減って、実験ノートのコピーが不便になった。
- 宿舎にウォシュレットが欲しい。
- ビームライン外のジュースの自販機近くにカップ麺やパンなどが売ってある自販機が欲しい。
- 売店は土日の夕方まで営業していただくと助かります。

## 3. 要望等及び施設側回答の公開場所

SPring-8/SACLA User Information のいずれからも検索・閲覧ができます。

[検索・閲覧手順]

- ① 「ビームタイム利用報告書（要望・回答）検索」
- ② 利用期、ビームライン番号等を入力
- ③ 「検索」



ビームタイム利用報告書検索

検索条件

期: 2016年 利用施設: 2 ビームライン: 2 FX実験ビームライン: 2 キーワード:

表示件数: 25 リセット 検索

検索結果 32 件中 1 - 25 件を表示

期	ビームライン	ご利用者に対するアドバイスや施設に対する要望、提案等	SPring-8/SACLAからの回答
2016	BL40KU	測定と解析に特に課題点はないが、1種のサンプルあたり、平均3~8程度の収束度を行い、最適な検出を確保するために 測定時間のうちセンタリングに費やす時間が多くなっていた。24検出でも一検出の測定しきれない、オートセンタリング機能がつかば、8~10検出くらい測定できるのではないかと思われる。	センタリングに費やす時間を減らす方法として自動センタリング用に半自動化のプログラムがありますのでPC上の画面をクリックして自動でセンタリングし、検出器チェックの段階では自動センタリングを省略し、良い結果であれば改めて自動のセンタリングを行う方法があるかと思えます。将来的には自動による自動調整の導入を検討してまいりますので現状以上の改善をお試しいただければと思います。
2016	PX-BL	既に報告済みのKUMaでビームサイズや照射位置を変えたときの dead 領域もりに対応してほしい。対応が困難なら、見積もりが不足している旨、警告メッセージなどが表示されるようにしてほしい。	ご返信をおかけしました。2016/10/17 現在、対応済みです。
2016	BL35KU	前年7月のビームタイムでは試験装置でのビームフラックスが昨年と比較し大幅に低下していたが、今回は前年と比較し検出器位置で4割ほど回復しており、検出器の稼働率も回復している。しかし、12検出前後の100μAの検出器が稼働、3つ(a)5(b)5の稼働率が回復と比較し3割ほどしかなく、また1(a)1の検出器のバックアップが少し感度であった。これらのことを検出器が稼働するまで知らなかったため、今更なデータ取得が困難になり、現状での検出データ取得が困難を覚悟するのにならざるを得ない。ビーム停止期間が長く停止中のメンテナンス後の状態がユーザーが不明瞭で利用しないこと、シャットアウト時からビームラインのセットアップが不明瞭な状態になること、さらに検出器に検出器のメンテナンス作業のセットアップ(特にKBでの測定)が行っていることから今回は提案ではなかったのですが、別の検出器と異なる場合は、可能な範囲で事前連絡をユーザーにして頂くをお願いします。	検出器の件ではご返信をおかけしました。BL35KUの検出器は、既に設置より10年経過しており、老朽化対策としての検出器の交換として当初計上しておりました。この検出器の交換についてはまだ計画は出来ておらず、ご質問のメンテナンスも、今後の検討が必要であることが判明し、今年度で前倒して検出器の交換の準備を進めたいと考えています。今回のケースでは検出器が稼働しなくなり、検出器の交換が困難な状況でありますが、検出器の交換が完了するまで検出器の稼働を継続していただき、検出器の交換が完了するまで検出器の稼働を継続していただくようお願いいたします。少なくとも2016年度のユーザーについてはご質問のとおり、事前のアクションを行ってまいります。
2016	BL35KU	エンドステーションはよく稼働しています。XRD測定、パルプの測り方をエンドステーションから行うことも出来るように思いますが、現状では測定が困難な場合があります。測り方の改善、測定結果の改善をお願いします。	次回からは別の測定とパルプの測り方をエンドステーションからできるようにいたします。

## SPring-8/SACLA 利用研究成果集における クリエイティブ・コモンズライセンスの導入について

公益財団法人高輝度光科学研究センター  
利用推進部

オープンアクセスのオンライン研究成果集である「SPring-8/SACLA 利用研究成果集」※ (<https://user.spring8.or.jp/resrep/>) は、2018年9月より、クリエイティブ・コモンズライセンス（以下、CCライセンス）を導入致しました。導入するCCライセンスは、クリエイティブ・コモンズ表示4.0国際（CC BY 4.0ライセンス）です。このライセンスを付与して公開される成果については、著作者が著作権を保持し、原作者のクレジット（氏名、タイトル、SPring-8/SACLA 利用研究成果集の Vol. No. ページなど）を表示することを主な条件として、誰にでも論文のダウンロード、コピー、改変、配布、営利目的も含むその二次利用を認めることとなります。上記コピー、改変、二次利用などを行う際に、著者や JASRI に改めて許可を得る必要はありません（CCライセンスについての詳細は、<https://creativecommons.jp/licenses/>を参照）。

なお、著作者がSPring-8/SACLA 利用研究成果集への成果の公開に際し、CC BY 4.0ライセンスの付与を希望しない場合は、現行通り JASRI への著作権の移譲を承諾いただいた上で、SPring-8/SACLA 利用研究成果集に投稿していただくこととなります。

このCC BY 4.0ライセンスの導入により、今後、SPring-8およびSACLAを利用した成果の一層幅広い普及と更なるその社会還元拡大に繋がることが期待されます。

※SPring-8 および SACLA における成果非専有利用研究課題では、実験責任者に利用期の終了後3年以内に、1) 査読付き科学・技術雑誌の論文、2) JASRI が刊行するSPring-8/SACLA 利用研究成果集、3) JASRI が認定した企業などで独自に査読編集される公開技術報告書のいずれかに得られた成果を公開することが義務付けられています。

SPring-8/SACLA 利用研究成果集は、SPring-8 および SACLA が国による多額の公的資金により建設・運営される特定先端大型研究施設であることに鑑み、得られた研究成果や知見を学術・科学技術の振興や産業利用なども含めた幅広い社会還元で最大限役立てることに向け、一般の査読付論文誌と同等の成果と位置付けたオープンアクセスのオンライン研究成果集として、2013年から刊行・公開しています。

## 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  
関西学院大学 理工学部

水木 純一郎

今月号から毎号「SPRUC 四季報」をお送りすることにいたします。SPRUC は、2018 年 4 月から新しい執行部で活動を開始いたしました。会長を拝命し、SPRUC からの情報発信があまりなされていないことに気が付きました。SPring-8 にユーザー登録すると自動的に SPRUC の会員になりますので、ご自分が会員であることを意識していない方もおられるかも知れません。SPring-8 が利用者のための施設であり、より利便性の高い施設にしていくために、SPRUC を通して多くの会員が声を上げていくことが大切です。そのためにも SPRUC の活動をアップデートしていくことが重要と考えました。まず、SPRUC が現在取り組んでいる改革の概要をご紹介します。

### 1. 活発な SPRUC 組織を維持するための会長選出方法の変更

これまでの SPRUC 会長は、評議員の互選、すなわち評議員の中から会長が選ばれていました。しかし、これではやがて人選に限りが予想されますので、会長適任者を会員の中から広く選出できるよう、次回からは評議員以外からも会長に就任可能とするようにいたしました。

### 2. SPRUC のシステマティックな PDCA サイクル形成のための組織改革

SPRUC の活動において、Plan-Do-Check-Action のいわゆる PDCA サイクルが形成されていることが大切です。活動が目的に即して行われているか、常に評価、チェックし、改める所があれば時機を逸することなく修正し新しい行動計画を立てていく必要があります。このために、会長の諮問に応じて SPRUC 全体に対して助言していただく顧問会議を組織いたしました。顧問会議メンバーは、学術、産

業界において広く深い見識を持つ方々の中から会長が指名し、SPRUC 会員である必要はありません。すなわち顧問会議には、Action や Plan に関わる所にご意見をいただきたいと考えています。また、代表機関会議は、世界的研究を牽引する研究教育機関で組織運営に関わる機関代表がメンバーですので、利用者の視点と研究・組織発展などの多面的視点から、運営を評価し、改善に向けた助言をいただき、SPRUC 活動に対して Check 機能としての立場で評価・助言をお願いしたいと考えています。評議員会は、機関代表による推薦、会員による選挙で選出された議決機関ですので、従来同様 Action、Plan を決定する機能を持っていただきます。このような新しい組織体制で、SPRUC の PDCA サイクルを形成したいと考えています。

### 3. 新しいサイエンスを切り開くため（蝸壺化防止のため）の分野融合型研究の推進と SACLA-UC との連携強化

イノベーションは、異分野融合からと言われています。現在、分野融合型研究は、ナノデバイス科学グループと実用グループの 2 つが活動していますが、この数を増やしていきたいと思っています。新規（新奇）グループ提案をお願いいたします。また、SACLA の利用が本格化してきています。SACLA ユーザー協同体 (SACLA-UC) とサイエンスを基盤にして議論する機会を持つことによって新しい研究領域が開拓されることを期待しています。このため、SACLA-UC との連携強化を進めていきたいと考え、SPring-8 の全ユーザーに加え、SACLA 全ユーザーを SPRUC 会員とするようにしたいと思います。これまでの利用委員会を SPRing-8 利用委員会とし、SACLA に対しては SACLA 利用委員会を設置いたしました。

これらの委員会の下に各種研究会を組織し、これらでサイエンスを議論するようにしました。

#### 4. 施設との懇談・連携の状況

3 GeV 放射光計画が動き出したことを受け、SPring-8のup-grade計画がいよいよ本格化することが期待されます。SPring-8 がユーザーのための施設であることを考えるとup-grade計画にSPRUCが果たす役割が大きいでしょう。世界の研究動向を正確に把握し、国際的な研究競争を有利に進めるために必要なX線の仕様や新規な実験手法を提案していくことが必要です。このためには、up-grade計画に向けた研究会の開催や研究組織を形成し、SPRUCの意見をまとめ、施設側と密な議論をしなければいけません。SPRUCと施設側とが継続的に議論できる仕組みが必要であるとの考えの基、中川前会長の時から理研-JASRI-SPRUC 3者のそれぞれのマネジメントレベルの研究者が集まって年5回程度の定期的な会合を持つようにしており、これを継続発展させていきたいと考えています。

#### 5. SPring-8 シンポジウムで見えてきた課題

8月に開催されたSPring-8シンポジウムでのパネルディスカッションでは、SPring-8が共用開始されて以来20年の間に放射光科学研究のフロンティアが急速に拡大し、20年前に共用ビームライン、専用ビームライン、施設者ビームラインと定義されたSPring-8のビームライン(BL)を再定義する必要性が議論されました。また、BL高性能化検討作業部会から放射光利用の今後の方向性として、(1)既存計測の自動化・汎用化、(2)既存計測の技術の高性能化による科学・技術の連続的発展、(3)既存技術では実現できない新しい計測技術による革新的な理工学の開拓、の3つのカテゴリーに分けられることが報告されています。これらに答えるためには、(1)では裾野ユーザー、ポテンシャルユーザー等も利用可能なBLの整備、(2)ではトレンド・ニーズに合わせたBLのスクラップ&ビルド、(3)では革新的実験探究のためのBLの整備が必要でしょう。これらを進めるためには、長期的に狙うべきサイエンスを議論しそれを評価する仕組み、挑戦的な新規手法の開拓

を促進する仕組み、既存BLを評価する仕組みと組織が必要で、BLの再定義とも関係して、これらの課題にSPRUCが積極的、かつ実効的にかかわっていくにはどのような形が考えられるのか、施設者側、登録機関と議論をしなければいけません。

さらに、産業利用の裾野拡大、人材育成もSPRUCの活動アイテムと考えられ、去年から始めたSPRUC主催のSPring-8秋の学校を継続的に発展させていくことも課題として挙げられます。

#### 6. まとめ

今回は、第一回目ということでSPRUCの今年度からの新しい取り組みについてご報告しました。次回からは、これら新しい取り組みがどのように具体的な形として現れてきているかご報告できればと考えています。

水木 純一郎 MIZUKI Jun'ichiro

関西学院大学 理工学部  
〒669-1337 兵庫県三田市学園2丁目1番  
TEL : 079-565-7433  
e-mail : mastery@kwansei.ac.jp

## SPring-8/SACLA 利用者情報 編集委員会

委員長	木下 豊彦	利用推進部
委員	吾郷日出夫	SPring-8 ユーザー協同体 (SPRUC)
		編集幹事 (理化学研究所)
	岡田 行彦	企画室
	奥村 英夫	タンパク質結晶解析推進室
	加藤 和男	利用研究促進部門
	河口 彰吾	利用研究促進部門
	坂尻佐和子	利用推進部
	高野 史郎	光源基盤部門
	竹下 邦和	光源基盤部門
	西川 健一	利用推進部
	本間 徹生	産業利用推進室
	松下 智裕	情報処理推進室
	松原 伸一	XFEL 利用研究推進室
	松本 悠史	安全管理室

(以上、敬称略五十音順)

事務局	小南 篤史	利用推進部
	冨松 亮介	利用推進部
	山本 律	利用推進部

## **SPring-8/SACLA 利用者情報**

Vol.23 No.4 November 2018

### **SPring-8/SACLA Information**

発行日 平成 30 年 (2018 年) 11 月 2 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)



ススキの筆とり、ブルーのキャンパスに綿色の雲描く

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<sup>こうと</sup>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/>