

SPring-8/SACL A

INFORMATION 利用者情報



ISSN 1341-9668 SPring-8 Document D2017-003

Vol.22 No.1
Feb. 2017

SPring-8/SACLA Information

目次

CONTENTS

理事長室から –財団 JASRI の事業再編成と社会的責任について–		
Message from President - Restructuring and Social Responsibility of JASRI Nonprofit Corporation -		
	(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 1
1. 最近の研究から / FROM LATEST RESEARCH		
[特集] SPRUC Young Scientist Award 受賞研究報告について		2
(SPRUC 2016 Young Scientist Award 受賞 研究報告)		
オプトジェネティクスツールである光駆動性イオン輸送体の構造機能解析		
Structural and Functional Analysis of Ion-Translocating Rhodopsins		
	スタンフォード大学 医学部 分子細胞生理学 School of Medicine, Stanford University	加藤 英明 KATO Hideaki 3
(SPRUC 2016 Young Scientist Award 受賞 研究報告)		
走査型 3DXRD 顕微鏡法の開発		
Development of Scanning Three-Dimensional X-ray Diffraction Microscopy		
	株式会社豊田中央研究所 分析部 Materials Analysis & Evaluation Division, TOYOTA Central R&D Labs., Inc.	林 雄二郎 HAYASHI Yujiro
	広瀬 美治 HIROSE Yoshiharu	妹尾 与志木 SENO Yoshiki
		吉田 友幸 YOSHIDA Tomoyuki 8
(SPRUC 2015 Young Scientist Award 受賞 研究報告)		
Imaging the Airway Surface to Test Cystic Fibrosis Treatments		
	School of Physics, Monash University / Institute of Advanced Studies & Chair of Biomedical Physics, Technische Universität München Women's and Children's Hospital, North Adelaide & Robinson Institute, University of Adelaide	Kaye Morgan Martin Donnelley David Parsons Karen Siu 14
	School of Physics, Monash University	
(SPRUC 2015 Young Scientist Award 受賞 研究報告)		
高分解能かつ色収差のない結像型 X 線顕微鏡の開発		
Development of High-Resolution and Achromatic Full-Field X-ray Microscope		
	大阪大学大学院 工学研究科 Graduate School of Engineering, Osaka University	松山 智至 MATSUYAMA Satoshi 17
(SPRUC 2014 Young Scientist Award 受賞 研究報告)		
高圧高温その場 X 線ラミノグラフィーで切り拓く新しい超高压地球科学		
High-Pressure Earth Science Explored by X-ray Laminography		
	愛媛大学 地球深部ダイナミクス研究センター Geodynamics Research Center, Ehime University	野村 龍一 NOMURA Ryuichi 22
(SPRUC 2014 Young Scientist Award 受賞 研究報告)		
CRISPR-Cas ヌクレアーゼの結晶構造		
Crystal Structures of CRISPR-Cas Nucleases		
	東京大学大学院 理学系研究科 Graduate School of Science, The University of Tokyo	西増 弘志 NISHIMASU Hiroshi 26
2. ビームライン / BEAMLINES		
BL24XU 実験ハッチの改造と雰囲気制御型硬 X 線光電子分光装置の整備		
Construction of an Experimental Hutch and Near-Ambient-Pressure Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy System at BL24XU		
	兵庫県立大学 放射光ナノテクセンター Institute for Research Promotion and Collaboration Synchrotron Radiation Nanotechnology Center, University of Hyogo	横山 和司 YOKOYAMA Kazushi
		松井 純爾 MATSUI Junji
	マツダ株式会社 技術研究所 Technical Research Center, Mazda Motor Corporation	住田 弘祐 SUMIDA Hirotsuke
	兵庫県立大学 高度産業科学技術研究所 Laboratory of Advanced Science and Technology for Industry, University of Hyogo	梶野 雄太 KAJINO Yuta
		渡邊 健夫 WATANABE Takeo
	スプリングエイトサービス株式会社 技術部 Technical Beamline Group, SPring-8 Service Co., Ltd.	野瀬 惣市 NOSE Souichi
	首藤 大器 SUDOU Motoki	竹内 和基 TAKEUCHI Kazuki
	兵庫県立大学大学院 物質理学研究科 / 兵庫県立大学 放射光ナノテクセンター Graduate School of Material Science, University of Hyogo	籠島 靖 KAGOSHIMA Yasushi
	津坂 佳幸 TSUSAKA Yoshiyuki	高山 裕貴 TAKAYAMA Yuki 30

3. 研究会等報告/WORKSHOP AND COMMITTEE REPORT			
61st Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials 報告			
61st Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2016)			
	(公財)高輝度光科学研究センター 利用研究促進部門	鈴木 基寛	
	Research & Utilization Division, JASRI	SUZUKI Motohiro	36
4. SPring-8/SACLA 通信/SPring-8/SACLA COMMUNICATIONS			
公益財団法人高輝度光科学研究センター (JASRI) への第 2 回科学技術助言委員会の提言内容			
The 2nd JASRI Advisory Committee on Science and Technology			39
2015A 期 採択長期利用課題の中間評価について			
Interim Review Results of 2015A Long-term Proposals			
	(公財)高輝度光科学研究センター 利用推進部		
	User Administration Division, JASRI		45
SPring-8 運転・利用状況			
SPring-8 Operational Status			
	(公財)高輝度光科学研究センター 企画調整部		
	Planning and Coordination Division, JASRI		51
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		53
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		57
SACLA BL1 共用開始について			
Soft X-ray FEL Beamline at SACLA			
	(国)理化学研究所 放射光科学総合研究センター XFEL 研究開発部門	大和田 成起	
	XFEL Research and Development Division, RIKEN SPring-8 Center	OWADA Shigeki	84
5. 談話室・ユーザー便り/USER LOUNGE・LETTERS FROM USERS			
SPring-8 ユーザー協同体 (SPRUC) 活動報告			
SPRUC Activity Reports			
	SPring-8 ユーザー協同体 (SPRUC) 庶務幹事/(国)理化学研究所 放射光科学総合研究センター	杉本 宏	
	RIKEN SPring-8 Center	SUGIMOTO Hiroshi	86
6. 告知板/ANNOUNCEMENTS			
第 25 回 SPring-8 施設公開のご案内			
Announcement of SPring-8 Open House			88
第 17 回 SPring-8 夏の学校 開催のご案内 ー最先端の放射光科学を学ぶー			
SPring-8 Summer School 2017			89

財団 JASRI の事業再編成と社会的責任について

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



財団 JASRI は、1990 年に発足して、先端大型研究施設 SPring-8 と SACLA の発展とともに歩んできた。しかしながら、財団の法律上の立ち位置と事業・業務内容は、わが国の社会状況とともに変遷してきた。

1994 年に特定放射光施設の共用の促進に関する法律が施行されて、財団は放射光利用研究促進機構に指定され、1997 年に建設を終えて SPring-8 の供用が始まった。2006 年に法律の改正があり、理研が共用施設の建設、運転、維持管理・保守、高度化などの事業に責任を持つこととなり、財団は共用施設の維持管理・保守、運転、高性能化の業務の一部を理研から競争入札により受託することとなった。2007 年に、財団は SPring-8 の利用促進業務を行う登録施設利用促進機関に新たに選定された。2007 年以降は、理研から競争入札契約により業務執行資金を受け、SPring-8 と SACLA の施設運営業務支援を行ってきた。また、共用ビームライン利用者の効果的な選定と効率的な支援を進めて利用研究成果を最大化する事業を実行するために、文科省から財団は法定交付金を受けており、2016 年度の利用促進交付金は 13.8 億円であった。

財団 JASRI は、これらの公益事業を効率的に実施して社会的責任を果たし国民の負託に答えてきたであろうか。四半世紀を経た財団組織は、肥大化してマンネリ化していないか。研究組織の技術開発力や研究支援力は、世界の先端放射光施設と比較して十分な競争力があるか。事務組織は肥大化して非効率ではないか。昨年は、これらの問に答えるため批

判的に自己点検して、研究組織、事務組織、職員雇用制度などを見直してきた。研究組織の見直しにあたり、科学技術助言委員会の提言内容を参考にした。また、事務組織は、総務部を研究支援部に、研究調整部を企画調整部に再編してスリム化することとした。さらに、技術員と事務員に年俸制特任職制度を導入して中堅職員の雇用を安定化した。しかし、経費削減と人員削減の大仕事は未だ道半ばである。

総務省の官民競争入札等監理委員会において、2010 年より公共サービス促進のための事業選定と市場化テストが実施されている。この委員会は、民間事業者の創意工夫を活用することにより、良質かつ低コストの公共サービスを実現するために、政府や独立行政法人からの競争入札契約の事業内容を監視している。2012 年から 2015 年において、理研の一般競争入札事業（最低価格落札方式で財団が受託した事業）「大型放射光施設及び関連施設運転業務」をヒアリング対象候補事業として委員会が選定した。この数年間、低コスト化や合理化のために競争入札事業の内容が精査されてきたと聞く。その結果、理研からの受託事業費は、2012 年度は 40 億円、2013 年度は 39 億円、2014 年度は 38 億円、2015 年度は 38 億円、そして 2016 年度は 30 億円程度と急激に減少した。2017 年度は、財団が落札できる保証はなく、効率化・合理化努力を継続して競争入札に対応したい。

公益財団法人 JASRI の置かれている社会環境と状況は厳しい。今年も、財団の存続をかけて経費削減と人員削減を進め事業再編成に取り組みつつ、文科省と理研との契約業務を着実に実行して社会的責任を果たしたいと考えている。

[特集] SPRUC Young Scientist Award 受賞研究報告について

SPRUC (SPring8ユーザー協団体) では、2012年の設立当初から、将来の放射光科学を担う優秀な若手会員の研究を奨励し、SPring-8ユーザー協団体をより活性化する目的で、毎年2名の研究者の方に Young Scientist Award を授与しており、2016年7月に5回目を迎えました。いずれの研究も、SPring-8の特徴を活用した優れた成果であり、受賞者の方々の今後の益々のご活躍が期待されます。

今回、2014年以降の受賞者6名の方に、受賞研究テーマについて、その後の進展も踏まえて寄稿いただきました。是非、ご一読ください。

【2016年度受賞者】

○加藤 英明 氏

スタンフォード大学 医学部 分子細胞生理学科

「オプトジェネティクスツールである光駆動性イオン輸送体の構造機能解析」

URL : <https://user.spring8.or.jp/sp8info/?p=34502>

○林 雄二郎 氏

株式会社豊田中央研究所 分析部

「走査型3DXRD 顕微鏡法の開発」

URL : <https://user.spring8.or.jp/sp8info/?p=34503>

【2015年度受賞者】

○Kaye Morgan 氏

School of Physics, Monash University

“Imaging the Airway Surface to Test Cystic Fibrosis Treatments”

URL : <https://user.spring8.or.jp/sp8info/?p=34442>

○松山 智至 氏

大阪大学大学院 工学研究科

「高分解能かつ色収差のない結像型 X 線顕微鏡の開発」

URL : <https://user.spring8.or.jp/sp8info/?p=34443>

【2014年度受賞者】

○野村 龍一 氏

東京工業大学 理工学研究科

(現 愛媛大学 地球深部ダイナミクス研究センター)

「高温高圧その場 X 線ラミノグラフィーで切り拓く新しい超高压地球科学」

URL : <https://user.spring8.or.jp/sp8info/?p=34444>

○西増 弘志 氏

東京大学大学院 理学系研究科

「CRISPR-Cas ヌクレアーゼの結晶構造」

URL : <https://user.spring8.or.jp/sp8info/?p=34476>

(SPRUC 2016 Young Scientist Award 受賞 研究報告)

オプトジェネティクスツールである光駆動性イオン輸送体の構造機能解析

スタンフォード大学 医学部 分子細胞生理学科
加藤 英明

Abstract

ヒトをはじめとする殆どあらゆる生物は光情報を利用して行動しているが、この光情報の受容は、多くの場合ロドプシンファミリータンパク質によって担われる。この中でも近年特に、イオン輸送体として働くロドプシンが、光によって細胞の膜電位を操作できるツールとして注目を集めている(オプトジェネティクス)。我々は、オプトジェネティクスツールとして最も広く利用されている光駆動性陽イオンチャネル、チャネルロドプシン (ChR) について、その立体構造を明らかにし分子機構の一端を解明した。また、得られた結晶構造を元に、異なる吸収波長特性を持つ変異型イオン輸送ロドプシンを創製する合理的設計法を提唱、実証した。更に、2013年に発見されたばかりの光駆動性 Na⁺ ポンプである *Krokinobacter rhodopsin 2* (KR2) についてもその立体構造を明らかにし、光依存的 Na⁺ 輸送の分子機構を解明するとともに、自然界からは発見されていない光駆動性 K⁺ ポンプを創製することに成功した。

1. 光駆動性陽イオンチャネルである ChR の構造機能解析

ChR は、2002 年に Peter Hegemann 博士らによって発見された光駆動性陽イオンチャネルであり、オプトジェネティクスの強力なツールとして、その発見以来注目を集め続けている。ChR は他の微生物型ロドプシンと同様、シッフ塩基を介して共有結合した *all-trans* レチナール (ATR) を発色団として持っている。光を吸収すると、この ATR が *13-cis* 型に異性化され、チャネルが開くことが知られていたが、その分子機構は勿論、イオン透過経路の位置すら不明であった。そこで我々は、ChR の立体構造を X 線結晶構造解析の手法を用いて明らかにし、その分子機構に迫ることを試みた。はじめに、既知の ChR やその変異体、キメラを含む十数種の ChR について発現スクリーニングを行い、X 線結晶構造解析に適した *Chlamydomonas reinhardtii* 由来 ChR1、ChR2 のキメラ (C1C2) を見出した。この C1C2 を発現精製し、近年注目を浴びている脂質キュービック相 (LCP) 法を用いて結晶化を行うことで、C1C2 の閉状態 (暗状態) における立体構造を 2.3 Å 分解能で決定した。位相決定は水銀原子の異常分散を利用した多波長異常分散法によって行うことができたが、これは LCP から得られた結晶

について、新規に位相決定を行うことができた初の例であった。またこの過程で、副産物として LCP 法に最適化された結晶化スクリーニングキットのデザイン、開発を行うことができた (Molecular Dimensions 社より商品名 MemMeso として販売中)。

得られた C1C2 の結晶構造を、現在までに最も研究が進んでいる微生物型ロドプシン、すなわち光駆動性 H⁺ ポンプであるバクテリオロドプシン (BR) の結晶構造と比較したところ、一次構造における両者の相同性は 15% 程度と低いにも関わらず、その構造は ATR の結合位置を含めて、非常に良く一致していることが判明した (図 1)。しかし一方で、大きく 2 つ

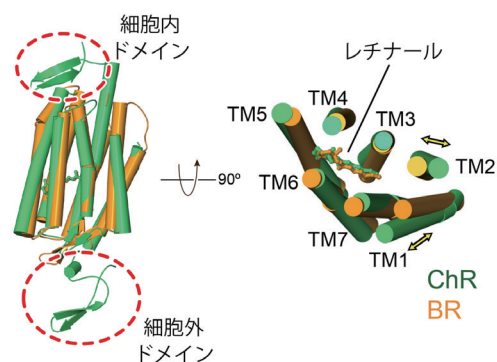


図 1 C1C2 と BR の構造比較。

の顕著な違いが存在していた。1つ目はC1C2が細胞外、細胞内に特有のドメイン構造を有していたことである(図1)。構造既知の微生物型ロドプシンは、どれも7回膜貫通ヘリックス(TM)と短いループ構造から構成されていたが、C1C2はそれに加えてN末端側に40残基程度、C末端側に30残基程度の小さなドメイン構造を有していた。特に、その細胞外ドメインは隣接する分子と3箇所のジスルフィド結合を含む強固な相互作用を形成しており、これによってC1C2は2量体構造を形成していた(図2)。これは、他の微生物型ロドプシンが3量体や5、6量体を形成するのとは対照的であり、2量体構造を形成する微生物型ロドプシンとしては初めての例となった。2つ目は、C1C2のTM1、2がBRと比較してそれぞれ3Å、4.1Åほど外側に傾いていた点である(図2)。TM1、2が外側に傾くことによって、C1C2のTM1、2、3、7によって囲まれた領域にはBRと比較して大きな空間が形成されていた。更に、我々がC1C2の立体構造を元にその表面電荷を計算したところ、C1C2のTM1、2、3、7によって囲まれたこの領域は強い負電荷を帯びていることが判明した(図3)。そのため我々は、このC1C2特有の負電荷を帯びた領域こそがイオンの透過に重要なのではないかと考え、経路上に存在するアミノ酸残基の変異体を複数作製し、そのチャネル活性を測定した。結果、変異体のチャネル活性はどれも低下しており、また変異体によってはイオンの選択性までもが変化するという見出すことができた。これはChRのイオン透過経路がTM1、2、3、7によって囲まれた領域に存在しているという考えを強くサポートするものであり、「ChRのイオン透過経路は単量体の中に存在するのか、多量体の中心に存在するのか」

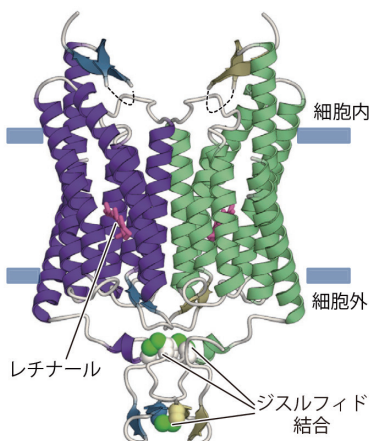


図2 C1C2 (2量体) の全体構造。

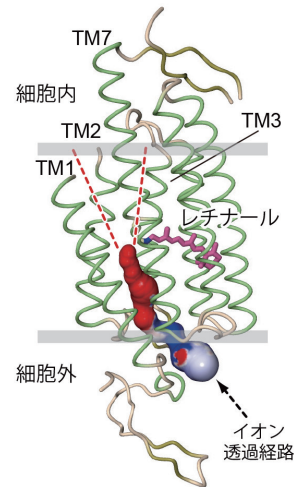


図3 C1C2のイオン透過経路。赤破線は予想される細胞内側のイオン透過経路を示している。

という10年近くに渡って続けられてきた議論に事実上の決着をつけるものであった。

以上の結果は、ChRの作動メカニズムについての理解を深め、更には、立体構造を元にツールとしてより有用な変異型ChRを設計するための道を示したという点で評価され、*Nature*誌のArticleに掲載された^[1]。なお、本研究が行われた2年後には、当時の共同研究者であったKarl Deisseroth博士ら、Peter Hegemann博士らが、我々の見出したイオン透過経路上に変異を導入することで、実際に“光駆動性陰イオンチャネル”を創製することに成功している^[2,3]。

2. 短波長励起型イオン輸送ロドプシンを創製する合理的設計法の提唱と実証

励起波長を短波長側や長波長側にシフトさせたイオン輸送ロドプシンを作成することができれば、両者を組み合わせることで、異なる光を用いて異なる神経細胞群の活動をコントロールするといった、発展的なオプトジェネティクス実験が可能になる。ロドプシンタンパク質の吸収波長は一般に3つの要因、すなわち、(1) シッフ塩基のカウンターイオンとH⁺化シッフ塩基との距離、(2) レチナール分子の平面性、(3) レチナール分子周辺の極性アミノ酸とレチナール分子間の静電相互作用、によって決定されると考えられている。(1)、(3)のパラメータを変化させることで微生物型ロドプシンの吸収波長をシフトさせる試みは何例も報告されていたが、(2)のパラメータを変化させる試みは殆ど行われていない。そこで、吸収波長シフト変異体の設計コンセ

プトとして新しい枠組みを提供するためにも、我々は、特に ATR の平面性を変化させるような変異を導入することによって短波長励起型 ChR を達成しようと考えた。

前項で得られた立体構造を用いて ATR の結合ポケットを解析し、特に Thr198、Gly202 の側鎖の大きさと形状が、ATR の β イオン環の向きを決定していると考えた。そこで、 β イオン環の向きを大きく回転させる狙いで、この 2 残基に変異を導入し、変異体のチャンネル活性と作動スペクトルを測定した。その結果、この変異体はチャンネル活性を保持しながらも作動スペクトルが 20 nm 程度短波長シフトしていることが判明した。そこで、この変異体を発現精製し、精製タンパクを用いて吸収スペクトルの測定と結晶化を試みた。結果、この変異体は吸収スペクトルにおいても 20 nm 程度の短波長シフトを実現しており、結晶構造中においても確かに ATR の β イオン環が 140° 程度回転していることが明らかになった (図 4)。

更に我々は、同様の設計思想が別のイオン輸送型ロドプシンにも適用できるのではないかと考え、異なる 3 種のイオン輸送型ロドプシンにも同様の変異を導入した。結果は驚くべきものであり、3 種全てのロドプシンにおいて、その変異体はイオン輸送活性を保持したまま、40~80 nm 程度の短波長シフトを示した。特にこのうち、オプトジェネティクスツールとしても用いられている Archaelhodopsin-3 (AR3) については、先述した「レチナル分子周辺の極性アミノ酸とレチナル分子

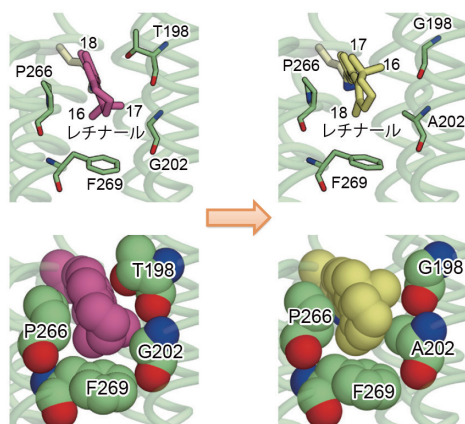


図 4 (左) C1C2 と (右) T198A/G202A 変異体の結晶構造におけるレチナル結合部位。C16、C17、C18 を含む β イオン環がポリエン鎖に対して回転しているのがわかる。

間の静電相互作用」を変化させる変異と組み合わせることで、100 nm という波長シフトを達成することができた。これは、合理的設計法によって達成されたロドプシンタンパク質の吸収波長シフトとしては最大のものであった。

以上の結果は、「ATR の β イオン環結合ポケットを形成する 2 アミノ酸に変異を導入することで、イオン輸送活性を損なわずにあらゆるロドプシンタンパク質の吸収波長を短波長側にシフトさせることができる」という仮説を強く支持するものであり、ロドプシンの吸収波長決定メカニズムに対する理解を深めたという点だけでなく、既知の長波長シフト変異体と組み合わせることで今後様々なアプリケーションを可能にしてくれることが期待されるという点で評価され、*Nature Communications* 誌に掲載された^[4]。

3. 光駆動性 Na^+ ポンプである KR2 の構造機能解析

KR2 (*Krokinobacter rhodopsin 2*) は、2013 年に海洋微生物 *Krokinobacter eikastus* から発見されたばかりの光駆動性 Na^+ ポンプであり、初の Na^+ ポンプ型ロドプシンとして着目されている。分光学的解析から、KR2 が ATR の異性化や H^+ シッフ塩基の脱 H^+ 化を伴う中間体 (M 中間体) を通じて Na^+ を輸送することが報告されていたが、そのゲーティングやイオン選択の分子機構については不明であった。また、陽イオンを細胞内に輸送することで神経細胞を興奮させることができる (=興奮性オプトジェネティクスツール) ChR とは対照的に、KR2 は陽イオンである Na^+ を細胞外に輸送する。そのため、KR2 は神経活動を抑制するツール (抑制性オプトジェネティクスツール) としても期待されていた。抑制性オプトジェネティクスツールとしては、現在まで主に内向き Cl^- ポンプであるハロロドプシン (HR)、外向き H^+ ポンプである AR3 が用いられているが、どちらも Cl^- 濃度変化や pH 変化に伴う毒性や望まぬ副作用が報告されている^[5]。その点で、 Na^+ を輸送する KR2 は、HR や AR3 に変わる第 3 の抑制性ツールとして使用できる可能性があった。そこで、我々は光駆動性 Na^+ ポンプの作動メカニズムについての理解を深めるため、そしてオプトジェネティクスツールへの適用可能性を調べるため、KR2 の結晶構造解析、並びにほ乳類神経細胞や線虫を用いたオプトジェネティクス実験を試みた。

はじめに、KR2 の N、C 末端の配列を最適化し

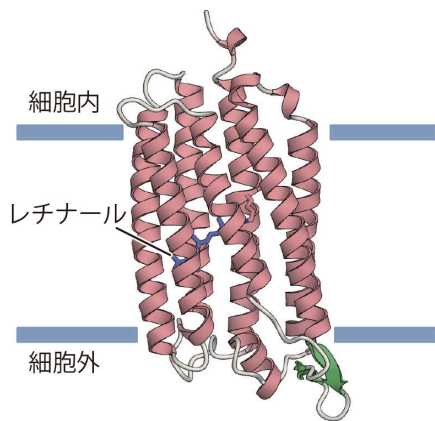


図5 KR2 (単量体) の全体構造。

た上でこれを培養精製し、LCP法を用いて結晶化を行い、2.3 Å という高分解能で酸性条件、中性条件におけるKR2の立体構造を決定することに成功した(図5)。BRを用いた先行研究において「酸性条件下におけるイオン輸送型ロドプシンの構造は特定の間体(M中間体)下のそれと類似している」ことが指摘されていたため¹⁶⁾、我々は酸性、中性条件におけるKR2の構造を比較することでKR2によるNa⁺輸送の分子機構に迫ることを考えた。酸性、中性条件におけるKR2の構造を比較したところ、全体構造に大きな差異は見られなかったが、シッフ塩基の近傍に位置するAsp116の向きに顕著な違いが見られた。中性条件下ではAsp116の側鎖がシッフ塩基の方向を向いている一方、酸性条件下ではこれがフリップし、シッフ塩基とは反対の位置に存在するAsn112、Ser70と水素結合を形成していたのである(図6)。このことは、Asp116がM中間体においてシッフ塩基からH⁺を受け取り、また受け

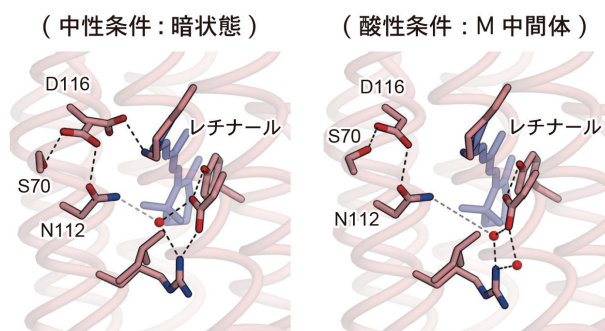


図6 (左) 中性条件、(右) 酸性条件におけるKR2のシッフ塩基周辺構造。黒破線は水素結合を示す。

取ったH⁺をシッフ塩基から遠ざけていることを示唆していた。シッフ塩基はKR2を含め、あらゆるイオン輸送型ロドプシンのイオン輸送経路の中心に位置しているため、シッフ塩基に結合したH⁺は陽イオンの輸送においてエネルギー的な障壁となりうる。そのため、Asp116のH⁺化、およびその側鎖の構造変化は、イオン輸送経路からH⁺を一時的に隔離することでNa⁺の輸送を可能にしているのではないかと考えられた(図7)。既に分光学的、生化学的手法を用いた分析により、Asp116がシッフ塩基からH⁺を受け取ること、そのH⁺移動がNa⁺輸送に必須であることが示されていた¹⁷⁾。そのため我々は、Asp116へのH⁺移動だけではなく、続く側鎖の構造変化もまた重要であることを示すため、H⁺化されたAsp116が水素結合を形成するAsn112、Ser70の変異体を複数作成し、そのNa⁺輸送能を調べた。その結果、D112N、S70Tといった、Asp116との水素結合を維持できる変異体はNa⁺輸送能を保持している一方で、D112A、S70Aといった変異体ではNa⁺輸送能が完全に失われることが判明した。このことは、Asp116のH⁺化、側鎖の構造変化の両方がNa⁺輸送に必須であることを強く示唆しており、先述した我々のゲーティングモデルを支持していた。

KR2はNa⁺に対する高いイオン選択性を持っており、生理的条件下ではK⁺やCa²⁺といった他の陽イオンを輸送しない。しかし、Asp116の構造変化を中心とした我々のゲーティングモデルではKR2が陽イオンを輸送することを説明できてもNa⁺に対して高い選択性を示すことは説明できなかった。そこで我々は、KR2はイオン輸送経路の中心であるシッフ塩基近傍とは別の場所にNa⁺を選択する構造基盤を有しているのではないかと考えた。我々は、輸送経路を構成しているTMI1、2、3、7の細胞内側のアミノ酸残基に変異を導入し、そのイオン輸送能と選択性を測定した。その結果、N61、G263に変異を導入することによりKR2がNa⁺だけではなくK⁺を輸送するようになることが判明した。中でも特筆すべきことは、N61P/G263Wの二重変異体がNa⁺よりもK⁺を選択的に輸送したことである。これは、我々がKR2の構造を元に光駆動性K⁺輸送体を創製したということに他ならず、未だ自然界より発見されていない輸送体を作成することができたというのは意義深いことであった。

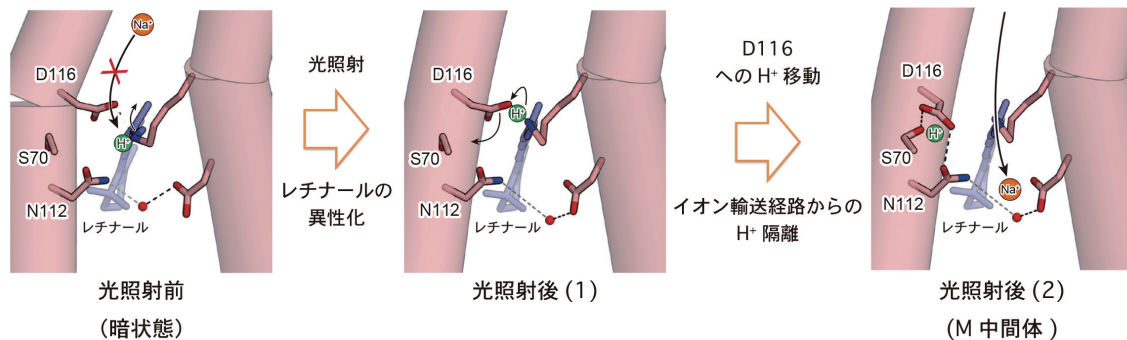


図7 KR2によるNa⁺輸送モデル。レチナールの異性化に伴いシッフ塩基に結合したH⁺がAsp116に受け渡され、H⁺化されたAsp116はAsn112とSer70と水素結合を形成することでNa⁺輸送に必要なエネルギー障壁を下げる。

最後に我々は、KR2が抑制性のオプトジェネティクスツールとして利用可能であることを検証した。KR2を発現させたラットの大脳皮質神経細胞を注入電流により強制的に興奮させ、これに緑色光を照射したところ、KR2の働きによって神経細胞の興奮が完全に抑制されることがわかった。また、線虫の運動神経にKR2を発現させ、光照射の前後で線虫の移動速度を測定したところ、KR2由来の電流によって神経細胞の活動が抑制された結果、線虫の運動行動が抑制されることが判明した。

以上の結果は、KR2によるゲーティング機構を明らかにしたのみならず、これがオプトジェネティクスツールとして利用可能であることを示した点、更には立体構造情報を元に自然界には存在しなかった光駆動性K⁺輸送体を創製した点などから評価され、*Nature*誌のArticleに掲載された^[8]。

謝辞

本研究の1章はStanford大学のKarl Deisseroth教授ら、名古屋大学のAndrés Maturana准教授ら、京都大学の林重彦教授ら、SPring-8の平田邦生博士、Humboldt大学のPeter Hegemann教授らとの共同研究、2章は京都大学の林重彦教授ら、名古屋大学のAndrés Maturana准教授ら、SPring-8の平田邦生博士、名古屋大学の山中章弘教授ら、岡山大学の須藤雄気教授らとの共同研究、3章は名古屋工業大学の神取秀樹教授ら、東北大学の八尾寛教授ら、名古屋大学のAndrés Maturana准教授ら、東京大学の木暮一啓教授ら、SPring-8の山下恵太郎博士、東京大学の飯野雄一教授らとの共同研究である。また、X線回折像の取得は、1章のChRのNative

dataを除き、全てSPring-8のBL32XUにおいて行った(1章のChRのNative dataはSLS X06SAにて取得した)。この場を借りて深くお礼申し上げる。

参考文献

- [1] H. E. Kato, F. Zhang, O. Yizhar, C. Ramakrishnan, T. Nishizawa *et al.*: *Nature* **482** (2012) 369-374.
- [2] A. Berndt, S. Y. Lee, C. Ramakrishnan and K. Deisseroth: *Science* **344** (2014) 420-424.
- [3] J. Wietek, J. S. Wiegert, N. Adeishvili, F. Schneider, H. Watanabe *et al.*: *Science* **344** (2014) 409-412.
- [4] H. E. Kato, M. Kamiya, S. Sugo, J. Ito, R. Taniguchi *et al.*: *Nat. Commun.* **6** (2015) 7177.
- [5] M. Mahn, M. Prigge, S. Ron, R. Levy and O. Yizhar: *Nat. Neurosci.* **19** (2016) 554-556.
- [6] H. Okumura, M. Murakami and T. Kouyama: *J. Mol. Biol.* **351** (2005) 481-495.
- [7] K. Inoue, H. Ono, R. Abe-Yoshizumi, S. Yoshizawa, H. Ito *et al.*: *Nat. Commun.* **4** (2013) 1678.
- [8] H. E. Kato, K. Inoue, R. Abe-Yoshizumi, Y. Kato, H. Ono *et al.*: *Nature* **521** (2015) 48-53.

加藤 英明 KATO Hideaki

Stanford University, School of Medicine, Department of Molecular and Cellular Physiology
163B Beckman Center, 279 Campus Drive, Stanford, CA, 94305, USA
TEL : (+1) 650-441-9956
e-mail : hekato@stanford.edu

(SPRUC 2016 Young Scientist Award 受賞 研究報告)

走査型 3DXRD 顕微鏡法の開発

株式会社豊田中央研究所 分析部

林 雄二郎、広瀬 美治

妹尾 与志木、吉田 友幸

Abstract

実用金属材料内部の結晶方位及び応力の非破壊3次元観察を行うため、細いビームを使って試料を3次元走査する3DXRD法（走査型3DXRD法）を開発した。再構成シミュレーションにより入射ビーム幅の2倍程度の空間分解能で結晶方位マッピングが可能であると推定した。最初の実験として、ビーム幅20 μm の入射ビーム及び粗大粒化純鉄試料を使って、再構成シミュレーションと矛盾しない結果が得られた。高エネルギー1 μm マイクロビームを使うことで実用冷間圧延鋼板材の結晶方位マッピングに初めて成功した。

1. 背景

金属材料の分野では、機械特性の定性的な理解から定量予測へと大きくシフトしようとしている。例えば降伏強度や成形性を定量予測しようという試みがなされており、実現すればモノづくりの高度化に貢献することは言うまでもない。自動車工業においては金属材料の塑性加工が多用されているが、高ひずみ領域における塑性加工CAE (Computer Aided Engineering) の予測精度が不十分のため試作が避けられない。自動車工業においてコスト削減は最重要課題の1つであり、試作はCAEの精度向上により克服すべきコストである。しかし、鉄鋼材料を始めとする実際の金属材料の塑性変形の数理モデリングは容易ではない。アプローチのひとつは、製造現場でもよく知られている有限要素法を使った工学的手法である。この手法では、応力とひずみの関係を定式化した構成方程式を設定し、有限要素法により数値解析を行う。例えば多結晶組織のような材料の不均一性は要素を小さくすることで表現する。結晶粒を有限要素分割できれば、結晶塑性論に基づく多結晶塑性モデリングが可能であり、最近では、結晶塑性論に転位論の考え方を取り込んだマルチスケールモデリングも登場している。しかし、現実の部品の大きさから結晶粒までを有限要素分割するには $(10^5)^3$ オーダーの要素数を要するため現状では難しい。一方、究極的な数理モデルとして、原子間ポテンシャルを設定し、原子1個1個の運動を

数値解析する原子シミュレーションも検討されている。分子動力学法では、転位のすべり運動や、転位の増殖、転位同士の相互作用、固溶原子・分散粒子・析出物と転位の相互作用、粒界における転位の堆積・応力集中といった塑性変形の素過程とも言える現象がシミュレーション可能である。しかし、1つの結晶における周期境界条件では従来と同じく現象の定性的な理解にとどまってしまうため、粒界ネットワークを記述できるスケールに拡張する必要があるが、それには $(10^5)^3$ オーダーの原子数を要するため現状ではやはり難しい。

数理モデルによる定量予測はまだ始まったばかりであり、計算科学の発達に伴ってそれぞれの手法がスケールを拡張し結晶粒スケールに到達することは、いずれ可能となろう。そうすれば結晶粒スケールを架け橋として原子シミュレーションに基づいた部品スケールのCAEの可能性が見えてくる。ここで重要な問題は、それぞれ結晶粒スケールに拡張したモデルのシミュレーションが実際の材料の挙動と一致しているかどうか確かめる実験手法が確立されていない点である。このような実験手法には、(1) 結晶粒スケールの顕微鏡法、(2) 応力及びひずみの定量評価、(3) 結晶方位の決定、(4) バルク内部3次元観察、(5) 非破壊観察といった機能が要求される。H. F. Poulsenらによって提案された、Three-dimensional x-ray diffraction microscopy (3DXRD)^[1]は、上のような要件を満たすことのできる放射光を使った新しい実験手法として

有力視されている。

3DXRD 法は言わば多結晶の回転結晶法である。多結晶試料に単色 X 線を入射し、試料を回転させながら、試料透過方向に配置した 2 次元検出器により複数の結晶粒からの X 線回折斑点を記録する。検出器は試料近く (10 mm 以内) に配置する高空間分解能検出器 D1 と、遠く (100 mm 以上) に配置する大面積検出器 D2 を用いる。D2 の回折画像の中から、結晶構造及び格子パラメータを既知として“多結晶指数付け”^[2-7]により、ある結晶粒からの回折斑点を抽出する。回折斑点の位置からその結晶粒の平均の結晶方位を決定し、格子パラメータを変数として結晶粒の平均の格子パラメータを決定する。何らかの方法で定義した無ひずみ時の格子パラメータとの差をとることで弾性ひずみを求めることができる。全ての格子パラメータが得られるため、弾性ひずみテンソルを求めることができる。したがって、応力テンソルに変換することも可能である^[5]。これを X 線が入射した各結晶粒に適用することにより、各結晶粒の粒内平均の結晶方位と応力が得られる。結晶粒の位置と形状の解析には、シート状の入射ビームと D1 を用いる。D1 における各回折斑点の位置と形状から、シート状ビーム入射断面内における結晶粒の位置と形状が解析される。回折斑点の形状及び強度分布も詳細に解析することにより、結晶粒内の結晶方位分布を再構成することが可能である^[8,9]。これにより、塑性ひずみに相当する物理量が得られる。ただし、結晶粒内の応力分布の解析はまだ達成されていない。50 keV 以上の高エネルギー X 線を使用するため、ビーム入射断面内において、 $1 \times 1 \text{ mm}^2$ 程度の試料外寸をもつ鉄系試料の観察が可能であり、微小引張試験片の塑性変形その場観察が実現されている。この断層の積み重ねにより 3 次元再構成が行われる^[9,10]。これにより原理的には上述の (1) 及び (3)–(5) を可能にしている。(2) に関しては塑性ひずみについては粒内分布、応力については粒内平均 (第 2 種応力と呼ばれる) が得られる。

3DXRD 法では回折斑点の位置を基に解析を行うため、異なる結晶粒からの回折斑点がオーバーラップしないような実験条件を満たさなければならない。そのため、熱処理により結晶粒径を粗大粒 (100 μm 程度) 化した試料を使って断層面内の結晶粒数を減らした実験がよく報告されている。実際の鉄鋼材料によく見られる粒径 (10 μm 程度) では、 $1 \times 1 \text{ mm}^2$ 微小引張試験片断層面内における結晶粒数が多すぎるた

め、回折斑点がオーバーラップし解析不能となる。筆者らはこの点が 3DXRD 法の最大の問題であると考えている。なぜなら、実験手法の制約により実際の材料とは大きく異なる試料をモデリングすることは、実用金属材料の塑性加工 CAE 高精度化を目指す筆者らにとっては本末転倒だからである。この問題を克服するために、筆者らは細い入射ビームを使って一度に X 線が入射する結晶粒数を減らすことによって、回折斑点のオーバーラップを抑える方法を提案した^[11]。細いビームを使った走査型の顕微鏡法であることから走査型 3DXRD 法 (Scanning 3DXRD) と呼んでいる。走査型 3DXRD 法では、試料を走査することにより空間分解を行うため D1 を必要としない。そのため試料周りの空間が広くとれるため、その場観察引張試験が容易になるという利点もある。また、3DXRD 法では粒内方位分布 (及び粒内応力分布) を解析するためには D1 上の回折斑点の強度分布データも必要となるが、一般に X 線 2 次元検出器の空間分解能とダイナミックレンジはトレードオフの関係にあるため、粒内分布の再構成は容易ではない。一方、走査型 3DXRD 法では、粒内分布の解析においても D2 上の回折斑点の位置情報のみを用いて強度情報は用いないため検出器のダイナミックレンジは不要である。

本稿では、まず走査型 3DXRD 法の方法論を概説する (2 節)。本手法では走査型の利点を最大限に活用するため、3DXRD 法とは異なる再構成法を新たに構築した。これは経験則に基づく工学的アプローチであるため、シミュレーションにより本再構成法の妥当性及びその限界を調べた (3 節)。検証実験については 2 例紹介する (4–5 節)。

2. 方法

走査型 3DXRD 法では細いビームを多結晶試料に入射し、Fig.1 に示すような回転 ω により試料を回転しながら、D2 により回折画像を連続的に記録する。 ω を 180° 回転したら X 方向に ΔX だけ並進させる。これを繰り返し、 ω 及び X で 2 次元スキャンした回折画像データを得る。2 次元スキャンデータから入射ビームが任意の点 $Q(x,y)$ を常に通るような (ω, X) の関係を満たす回折画像データを抽出する。この条件を満たすとき、簡単のため x 方向の入射ビーム幅を ΔX とすると、 180° 回転の間、点 Q を中心とした直径 $2\Delta X$ の領域に入射ビームが概ね集中する。そこで、抽出した回折画像の中には、点 Q 及びその周り直径 $2\Delta X$ の空

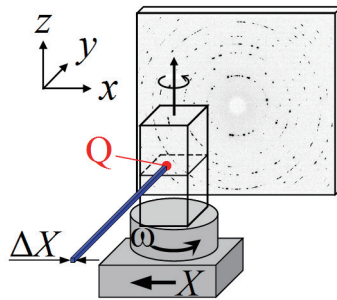


Fig.1 走査型3DXRD 顕微鏡法のセットアップ。

間を占める結晶粒の回折斑点が最も多く記録されると仮定する。正確には、ある結晶粒から検出される回折斑点数 N は結晶方位に依存するため、 N の理論的な最大値を M として、 N/M が最大となる結晶粒が点 Q を占める結晶粒であると仮定する。 N は 3DXRD 法により構築された“多結晶指数付け”により決定することができ、 M は理論的に求められる。多結晶指数付けにより同時にその結晶粒の結晶方位も求まる。したがって、点 Q 及びその周り直径 $2\Delta X$ の空間を占める結晶粒及びその結晶方位が求まる。直径 $2\Delta X$ は位置不確定性をもたらすため、空間分解能は $2\Delta X$ 程度であると予想される。また、位置不確定性の観点から ΔX は入射ビーム幅もしくは X 方向スキャンステップのどちらか大きい方と定義できる。点 Q を視野全体にわたって掃引することにより 2 次元結晶方位マップが得られる。この 2 次元マップを z 方向に積み重ねることにより 3 次元結晶方位マップが得られる。

3. 再構成シミュレーション

走査型 3DXRD 法における再構成方法の妥当性を検証するために、最初のステップとして、再構成シミュレーションにより結晶粒形状の再現性を調べた。用いた結晶粒形状評価用ファントムを Fig.2(a) に示す（再構成法評価用人工モデルをファントムと呼ぶ）。結晶粒分布ファントムでは各結晶粒を要素分割し、結晶粒内部では均一な結晶方位をもたせている。Fig.2(a) において色は結晶方位を、実線は結晶粒界を示している。入射ビーム幅（及び X 方向スキャンステップ） ΔX を結晶粒径よりも十分小さくとり、 (ω, X) の関数として各結晶粒の回折斑点位置を計算した。次にファントムの情報は使わずに、計算した回折斑点位置データから前節で述べた方法により結晶粒マップを再構成した。シミュレーション方法の詳細は文献 [11] を参照さ

りたい。再構成された結晶粒マップを Fig.2(b) に示す。Fig.2(b) において色は再構成された結晶粒分布、実線はファントムの結晶粒界を示している。Fig.2(b) より、(i) 小さい粒に隣接している大きい粒はさらに大きくなる、(ii) 大きい粒に隣接している小さい粒はさらに小さくなるか消失する、(iii) 結晶粒の凹凸形状が丸みを帯びる、といったアーティファクトが生じることが分かる。結晶粒形状ずれ量を定量的に調べるために、再構成マップの結晶粒界とファントムの結晶粒界の位置ずれ量 W_b を評価した。その結果をヒストグラムとして Fig.2(c) に示す。ヒストグラムの横軸 W_b は ΔX により規格化している。ヒストグラムより W_b は概ね $2\Delta X$ 以下に集中していることが分かる。したがって、本シミュレーションでは結晶粒形状の再現性は、 $\sim 2\Delta X$ 程度であると言える。これは前節で予想した空間分解能と一致する。

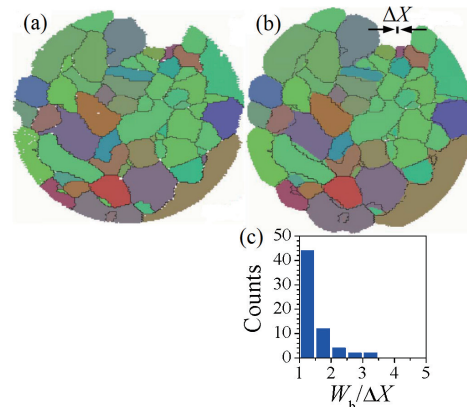


Fig.2 再構成シミュレーションに用いた、(a) 結晶粒形状評価用結晶粒分布ファントムと、(b) シミュレーションにより得られた結晶粒マップ。(a) 及び (b) 中の両方にファントムの結晶粒界を実線で示している。(c) 入射ビーム幅 ΔX で規格化した W_b のヒストグラム。 W_b はファントムの結晶粒界位置とシミュレーションにより得られた粒界位置のずれ量である。

4. 粗大粒試料による検証実験

走査型 3DXRD 法の初めての実験を粗大粒化純鉄試料と $20 \mu\text{m}$ ビームを用いて行った。供試材として直径 0.5 mm の純 Fe 線（純度 99.5%）を用意し、 $1250^\circ\text{C} \cdot 5$ 時間の粗大粒化熱処理を施した試料を用いた。BL33XU 豊田ビームラインにおいて、アンジュレータ放射光を Si220 チャネルカット分光器により 40 keV に単色化し、 $20 \times 20 \mu\text{m}^2$ のスリットを通して試料に入射した。D2 にはフラットパネル検出器を

用いた。 ΔX を $25\ \mu\text{m}$ 、 z 方向のスキャンステップを $25\ \mu\text{m}$ とし、走査型 3DXRD 法により 3次元結晶方位マッピングを行った。次に試料を切り出し、電子線後方散乱回折 (EBSD) 法により切り出し表面の結晶方位マッピングを行った。結晶粒の相対方位及び相対位置を頼りに、EBSD 方位マップ中で観察された結晶粒を走査型 3DXRD による 3次元方位マップの中から探し出した。3次元マップ中、一致した結晶粒が最も多く含まれる xy 面 2次元マップを EBSD 観察と一致した走査型 3DXRD レイヤとした。一致した走査型 3DXRD レイヤにおける 2次元結晶方位マップを xy 面内におけるボクセルサイズ Δx を $12.5\ \mu\text{m}$ としてもう一度再構成した (xy 面内ボクセルサイズ Δx は入射ビーム幅及び X 方向スキャンステップ ΔX と必ずしも一致しなくてよいが、原理的な空間分解能は Δx には依存せず ΔX に依存する。詳しくは文献 [11] を参照されたい)。これを走査型 3DXRD で再構成された方位マップとして、走査型 3DXRD 及び EBSD で評価された結晶粒径を比較した。

走査型 3DXRD 及び EBSD により得られた方位マップをそれぞれ Fig.3(a) 及び 3(b) に示す。両マップで一致した結晶粒の直径の比 d_{3DXRD}/d_{EBSD} を、 $d_{EBSD}/\Delta X$ に対してプロットした結果を Fig.3(c) に示す。ここで、 $\Delta X = 25\ \mu\text{m}$ である。Fig.3(c) のグラフ中には走査型 3DXRD 再構成シミュレーションにより推定さ

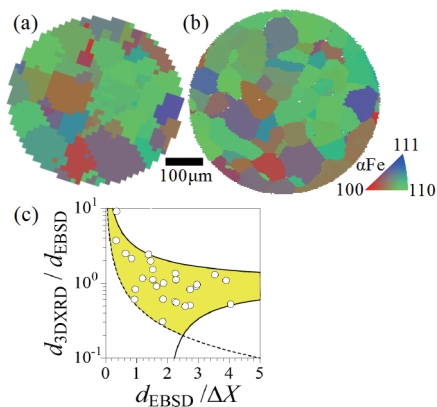


Fig.3 (a) 走査型 3DXRD 法及び、(b) EBSD 法により得られた粗大粒化純 Fe 線材の結晶方位マップ。結晶方位は z 方向の逆極点図表示。(c) 両マップで一致した結晶粒の粒径比の粒径 (直径 d) 依存性。(c) グラフ中の実線は走査型 3DXRD 法の空間分解能を $2\Delta X$ と仮定したときの粒径比の上限及び下限 ($d-2\Delta X/d$) を示す (+は上限、-は下限)。点線は走査型 3DXRD 法の xy 面内におけるボクセルサイズ Δx による粒径比の下限 $\Delta x/d$ を示す。

れた空間分解能 $2\Delta X$ による粒径比の上限と下限を実線で示している。また、走査型 3DXRD 方位マップの xy 面内におけるボクセルサイズ Δx による粒径比の下限を点線で示している。粒径比がこれら上限・下限以内に収まっていることが分かる。これは、走査型 3DXRD 法の空間分解能を $2\Delta X$ と仮定すると、走査型 3DXRD 及び EBSD による粒径評価値が一致していることを表している。

5. マイクロビームを用いた実用鉄鋼材料の観察

次に、マイクロビームを使った走査型 3DXRD 法により実際の鉄鋼材料を熱処理せずに 2次元結晶方位マッピングを行った。供試材には一般塑性加工用として非常に広く実用に供されている冷間圧延鋼板 SPCC (JIS G 3141) 商用流通受け入れ材を用いた。EBSD により評価した SPCC 材 (1 mm 厚) の方位マップと粒径のヒストグラムをそれぞれ Fig.4(a) 及び 4(b) に示す。実験は、BL33XU 豊田ビームラインにおいて $50\ \text{keV}$ マイクロビーム光学系を構築して行った^[12]。アンジュレータ放射光を Si311 二結晶分光器により $50\ \text{keV}$ に単色化し、Kirkpatrick-Baez 配置 $400\ \text{mm}$ 長 Pt コート Si ミラーにより集光した。集光サイズは半値全幅で幅 $1.3 \times$ 高さ $1.6\ \mu\text{m}^2$ 、フラックスは、 $5.9 \times 10^9\ \text{photons/s}$ であった。EBSD 評価とは別ロットの SPCC 材 (1 mm 厚) からワイヤカット加工により幅 $1\ \text{mm}$ の試料を切り出し、試料長手方向を z 方向

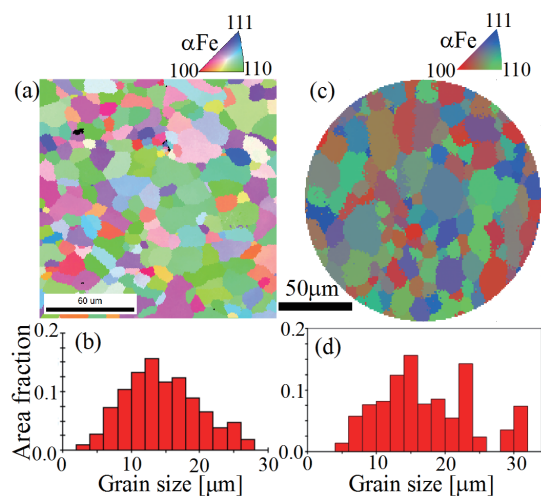


Fig.4 冷間圧延鋼板 SPCC 材の EBSD 法による、(a) 結晶方位マップと、(b) 粒径 (直径) ヒストグラム、及び、マイクロビームを用いた走査型 3DXRD 法による (c) 結晶方位マップと、(d) 粒径 (直径) ヒストグラム。

とした。したがって、 xy 面内の試料断面積は $1 \times 1 \text{ mm}^2$ である。 X 方向スキャンステップを $1 \text{ }\mu\text{m}$ として xy 面内の 2 次元結晶方位マッピングを行った結果を Fig.4(c) に示す。3DXRD 的手法により粒径 $20 \text{ }\mu\text{m}$ ・断面積 $1 \times 1 \text{ mm}^2$ の金属試料において粒径が評価できる程度の結晶方位マップが得られたのはこれが初めてである。この結晶方位マップから得られた粒径のヒストグラムを Fig.4(d) に示す。視野が狭いため統計ばらつきが見られるものの、平均値はおよそ $15 \text{ }\mu\text{m}$ 、分布はおよそ $5 \sim 25 \text{ }\mu\text{m}$ となっており、EBSD による評価と概ね一致が得られている。結晶粒形状に着目すると、Fig.4(c) では Fig.4(a) のような滑らかな結晶粒界が再現されておらず、粒界位置が不鮮明である。実験装置の精度向上及び再構成アルゴリズムの精密化等により粒界位置の鮮明化は可能であると考えている。

6. まとめ

3DXRD 法は高エネルギー放射光 X 線を使って多結晶金属材料内部における結晶方位と応力の非破壊 3 次元観察を可能にした新しい手法である。筆者らは、3DXRD 法を実際の材料に応用する際に最大の問題となる回折斑点のオーバーラップを解決するため、マイクロビームを用いて試料を走査する走査型 3DXRD 法を考案し、最初のステップとして結晶粒マッピングのシミュレーションと実験を行った。再構成シミュレーションでは、結晶粒形状の再現性の空間分解能は入射ビーム幅（またはスキャンステップ幅の大きい方）の 2 倍程度であることを推定した。実験では、粗大粒化純 Fe 線試料を用いて走査型 3DXRD と EBSD により同じ断面の結晶方位マッピングを行い、粒径を比較した結果、再構成シミュレーションにより推定された空間分解能と矛盾しないことを確かめた。実用へ向けて 50 keV マイクロビームを使った走査型 3DXRD 装置を構築し、冷間圧延鋼板 1 mm 厚商用流通受け入れ材の非破壊結晶方位マッピングに初めて成功した。

7. 今後の展望

これまで一般塑性加工用鉄鋼材料の代表である冷間圧延鋼板 SPCC 材（平均粒径約 $20 \text{ }\mu\text{m}$ ）の非破壊結晶方位マッピングを達成した。その際、(1) 結晶粒スケールの顕微鏡法、(3) 結晶方位の決定、(5) 非破壊観察を達成した。今後は、一般鍛造用鉄鋼材料の代表であるフェライト・パーライト炭素鋼や自

動車用高強度鋼板であるフェライト・マルテンサイト二相鋼への適用拡大を目指す。このため、フェライトとパーライトまたはフェライトとマルテンサイトの識別方法の検討を行う。また、(2) 応力及びびずみの定量評価、及び (4) バルク内部 3 次元観察への拡張を目指す。(4) への拡張は、走査型の欠点である長時間測定による位置ドリフトを克服するために試料及びビームの長時間位置安定化を図る。(2) については、走査型 3DXRD 法における結晶粒内方位及び応力分布の解析方法の構築を要する。本稿で紹介した結晶方位マッピング方法においても既に結晶粒内の方位分布をある程度反映した情報が得られているが^[13]、ある結晶粒からの回折斑点は入射ビーム奥行き方向の平均になるため粒内方位差量及び応力の定量性が損なわれている。そこで、本再構成法によって得られる方位・応力マップを初期マップとし、実験データに基づいてマップを修正し粒内方位差量及び応力値を回復する再構成法を新たに構築する。合わせて、3DXRD 法でまだ解決されていない難題である応力の粒内分布（第 3 種応力と呼ばれる）の再構成に取り組む。

謝辞

高エネルギーマイクロビーム集光装置の導入にあたり、(公財)高輝度光科学研究センター (JASRI) の大橋治彦博士及び湯本博勝博士に多大なるご協力を頂きました。ここに感謝申し上げます。本研究開発は SPring-8 BL33XU において実施したものです（課題番号 2010A7002、2010B7002、2011B7002、2012A7002、2012B7002、2014B7002、2015A7002、2015B7002、2016A7002）。また、本研究は JSPS 科研費 JP22760571、JP26870932 の助成を受けたものです。実験及び解析にあたり (株)豊田中央研究所の瀬戸山大吾氏、門浦弘明氏、高谷恭弘氏、鈴木智博氏にご協力頂きました。

参考文献

- [1] H. F. Poulsen: *J. Appl. Cryst.* **45** (2012) 1084-1097.
- [2] E. M. Lauridsen *et al.*: *J. Appl. Cryst.* **34** (2001) 744-750.
- [3] W. Ludwig *et al.*: *Rev. Sci. Instrum.* **80** (2009) 033905.
- [4] M. Moscicki *et al.*: *Mater. Sci. Eng. A* **524** (2009) 64-68.
- [5] J. Oddershede *et al.*: *J. Appl. Cryst.* **43** (2010) 539-549.

- [6] J. V. Bernier *et al.*: *J. Strain Anal. Eng. Des.* **46** (2011) 527-547.
- [7] J. K. Edmiston *et al.*: *J. Appl. Cryst.* **44** (2011) 299-312.
- [8] S. F. Li *et al.*: *J. Appl. Cryst.* **45** (2012) 1098-1108.
- [9] R. Pokharel *et al.*: *Int. J. Plasticity* **67** (2015) 217-234.
- [10] G. Winther *et al.*: *Int. J. Plasticity* **88** (2017) 108-125.
- [11] Y. Hayashi *et al.*: *J. Appl Cryst.* **48** (2015) 1094-1101.
- [12] Y. Hayashi *et al.*: *AIP Conf. Proc.* **1741** (2016) 050024.
- [13] Y. Hayashi *et al.*: *Mater. Sci. Forum* **777** (2014) 118-123.

林 雄二郎 HAYASHI Yujiro

(株)豊田中央研究所 分析部
〒480-1192 愛知県長久手市横道41番地の1
TEL : 0561-63-4300
e-mail : y-hayashi@mosk.tytlabs.co.jp

広瀬 美治 HIROSE Yoshiharu

(株)豊田中央研究所 分析部
〒480-1192 愛知県長久手市横道41番地の1
TEL : 0561-63-4300
e-mail : e0432@mosk.tytlabs.co.jp

妹尾 与志木 SENO Yoshiki

(株)豊田中央研究所 分析部
〒480-1192 愛知県長久手市横道41番地の1
TEL : 0561-63-4300
e-mail : y-seno@mosk.tytlabs.co.jp

吉田 友幸 YOSHIDA Tomoyuki

(株)豊田中央研究所 分析部
〒480-1192 愛知県長久手市横道41番地の1
TEL : 0561-63-4300
e-mail : tom-yoshida@mosk.tytlabs.co.jp

(SPRUC 2015 Young Scientist Award 受賞 研究報告)

Imaging the Airway Surface to Test Cystic Fibrosis Treatments

Kaye Morgan^{1,2}, Martin Donnelley³, David Parsons³ and Karen Siu¹

¹School of Physics, Monash University, Australia

²Institute of Advanced Studies & Chair of Biomedical Physics, Technische Universität München, Germany

³Women's and Children's Hospital, North Adelaide & Robinson Institute, University of Adelaide, Australia

The genetic condition Cystic Fibrosis affects the body in a number of ways, most devastatingly in the form of progressive early-fatal lung disease. This lung disease is largely caused by an inability to effectively clear inhaled debris and bacteria along the airway surface and out of the lungs. Key to this clearance is the airway surface liquid (ASL) that lines the airways at a depth of only a few microns, enabling cilia along the airway surface to beat in coordination, transporting mucus and debris away from the lungs. In Cystic Fibrosis, the ASL is dehydrated and decreased in depth, compromising these mechanisms. A variety of existing and new airway treatments aim to increase this ASL depth to reverse the defective transport processes, but it is difficult to verify treatment success *in vivo*. Some treatment testing is done using excised airway epithelium sections, or airway tissue cultures, but these do not completely model the state of the airway *in vivo*. Other tests examine changes in lung function, but these quantify overall lung health, and these measures typically do not change until several months after treatment delivery, meaning that treatment testing can be very slow and logistically difficult.

In this project, we developed and applied a non-invasive method of airway imaging to observe treatment-induced changes in the ASL depth in mouse airways in real time^[1,2]. This new method enables immediate, quantitative and direct feedback on treatment effectiveness in airways while they are in normal operation within the body.

These measurements were enabled by phase contrast,

a mode of X-ray imaging that reveals not only bone structure, but also details of soft tissue structures like the airways. This method analyses the phase of the X-ray wavefield and has been developed at high coherence synchrotron sources. Quantitative sample images can be reconstructed by relating variations in X-ray phase to the refractive properties of the sample. The significant differences in refractive properties between tissue and air means the air-filled lungs and airways are particularly suited to phase contrast X-ray imaging.

We utilized the high flux of the undulator synchrotron beamline BL20XU to capture short exposure image sequences of the airway surface in mice. In order to track micron-sized changes in the airway surface liquid depth, the selected field of view was 721 micron by 497 micron. To avoid blur from respiratory motion, exposures were only 100 ms long and image capture was synchronized to the end of expiration (the most stationary point of the breath cycle), achieved using a small animal ventilator. The mouse was anaesthetized during the experiment and its health was remotely monitored using temperature and ECG. In order to best reveal the details of the airway, fur was removed from the neck area surrounding the relevant airways.

We have also used this set-up to image the motion of inhaled particles along the surface of the airways^[3]. For those experiments, we visualized the phase effects by introducing a distance of approximately 1 meter between the animal and the detector. This mode of phase contrast imaging is referred to as “propagation-based”, and results

in edge-enhancement at the air/tissue interfaces, as well as at the edges of any inhaled or resident particles.

While there is this strong edge enhancement seen at the air to liquid boundary, the ASL-tissue boundary is too subtle and is not visible in the propagation-based phase contrast image, as seen in Fig.2(a). Therefore propagation-based phase contrast is not sufficiently sensitive to differentiate the airway surface liquid from the underlying tissue. In order to increase the sensitivity of the system, we introduced a fine grid immediately upstream of the mouse, as seen in Fig.1. By tracking sample-induced distortions to the grid-and-airway image (Fig.2(b)), we can extract a ‘differential’ contrast image (Fig.2(c)). This differential image is more sensitive to subtle changes in the refractive index of the sample, and hence the ASL-tissue boundary can be located (Fig.2(c)). This type of phase contrast imaging can be referred to as single-grid imaging and can use an absorption^[4] or phase^[5] grid, or a random phase object like a piece of paper, to provide a reference pattern at the detector.

Single-grid phase contrast X-ray imaging satisfies the requirements of this application in that it is both sufficiently sensitive to differentiate ASL from tissue and sufficiently fast to avoid image blur often present in a living animal. Importantly, only a single exposure is required to capture the relevant detail of the ASL depth. In comparison, some phase contrast techniques require multiple and/or long exposures to reconstruct an image, rendering them incompatible with respiratory motion and (non-repetitive) biological changes, present in this situation (and exaggerated with such a small field of view).

To measure ASL depth a reference image of the grid was captured before the mouse was introduced to the field of view. Airway-and-grid images could then be locally compared to the reference grid-only image using a local

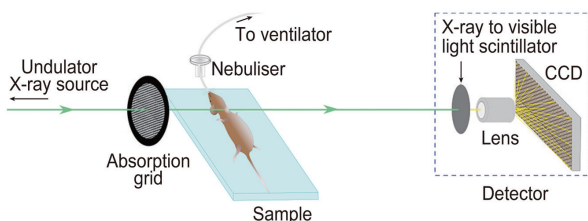


Figure 1 Experimental setup.

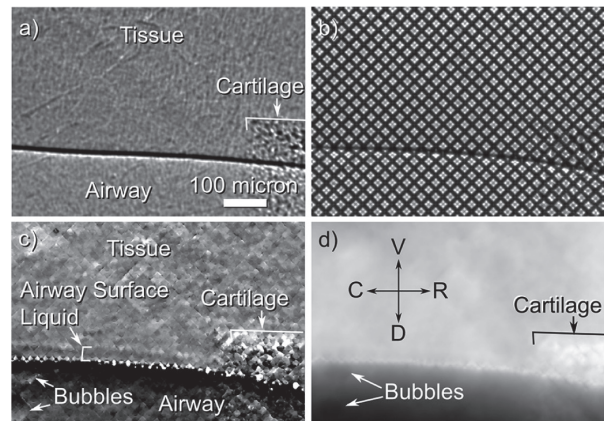


Figure 2 (a) Propagation-based phase contrast X-ray imaging of the airway surface is not sufficiently sensitive to differentiate tissue from airway surface liquid. (b) When a grid is placed in front of the airway, sample-induced distortions can be tracked to recover. (c) a differential image that shows the airway surface liquid. (d) The projected thickness of the airway can also be reconstructed, with reference directions shown as V = ventral, D = dorsal, C = caudal and R = cranial.

cross-correlation to track how far each part of the image is transversely shifted due to the presence of the sample^[4]. As seen in Fig.2(b), these shifts are usually of the order of 0 to 8 pixels, hence the peak of the cross-correlation is interpolated to measure shifts with precision better than one pixel^[5]. The magnitude of these shifts in a given direction is then plotted across the image to provide a differential image, as seen in Fig.2(c) where shifts in the vertical direction are shown. The differential images can then be integrated together and scaled to give the total tissue thickness^[4], shown in Fig.2(c), which looks more like a conventional X-ray image.

Once the mouse was positioned in the X-ray beam, images were captured at time points separated by 3 minutes, with the first data point immediately prior to treatment delivery. The treatment, delivered as an aerosol, was a combination of 7% hypertonic saline (HS) and HS-P308, a long-acting epithelial sodium channel blocker (P308; Parion Sciences, Durham, NC) used at a concentration of 1 mM. The same volume of isotonic saline was used as a control. Ten images were taken at each time point to minimize variability and avoid

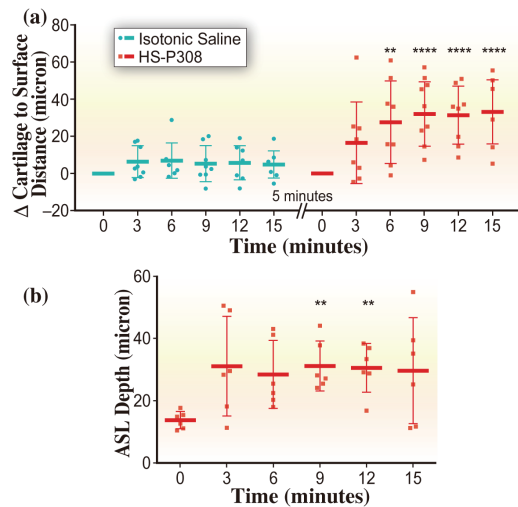


Figure 3 Measurements of (a) airway surface position and (b) ASL depth, with stars indicating statistical significance (** indicates $p \leq 0.01$ and **** indicates $p \leq 0.0001$), with treatment delivered immediately after $t = 0$ minutes. Horizontal bars indicate mean measurement at that time point, with tails showing the standard deviation in measurements.

problems with motion blur. ASL depth measurements were made by manually tracing both the tissue-to-ASL and ASL-to-air interfaces in the vertical differential contrast images (e.g. Fig.2(c)), then measuring the distance between these traces in software, taking the average of all (roughly 3000) measurements along the length of the airway edge available in the image. Because the isotonic saline produced minimal changes, it was difficult to definitively measure the ASL depth in these images, hence the distance between the uppermost boundary of the cartilage and the ASL-to-air boundary was measured as an indicator of changes in ASL depth, as shown in Fig.3(a). A statistically significant increase in surface position was observed for time points greater than 6 minutes from HS-P308 treatment delivery, with no return-to-normal observed within the imaging period ($p < 0.05$, repeated-measure ANOVA). There was also an increase in ASL depth noted at 9 and 12 minutes post-treatment-delivery, indicating treatment had been effective for that period.

This imaging technique can now be used to test the effectiveness and duration of effect of new airway rehydrating treatments in animal models *in vivo*. Future

studies will use repeat-imaging over extended periods of time in the same animals to assess long-term treatment effects^[3], different animal models of CF to assess differences in treatment effect with disease, and will compare different methods of treatment delivery. None of these types of studies are possible with previous techniques used to measure the airway surface liquid.

To whom Correspondence should be addressed:
kayemorgan7@gmail.com

References

- [1] K. S. Morgan, M. Donnelley, N. Farrow, A. Fouras, N. Yagi, Y. Suzuki, A. Takeuchi, K. Uesugi, R. Boucher, K. Siu, D. Parsons: *Am. J. Resp. Crit. Care Med.* **190**, p.469-472 (2014).
- [2] K. S. Morgan, M. Donnelley, D. M. Paganin, A. Fouras, N. Yagi, Y. Suzuki, A. Takeuchi, K. Uesugi, R. C. Boucher, D. W. Parsons and K. K. W. Siu: *PLoS ONE* **8**, p.e55822 (2013).
- [3] M. Donnelley, K. S. Morgan, K. K. W. Siu, A. Fouras, N. Farrow, R. Carnibella and D. Parsons: *J. Synchrotron Rad.* **21**, p.768 (2014).
- [4] K. S. Morgan, D. M. Paganin and K. K. W. Siu: *Opt. Express* **19**, p.19781-19789 (2011).
- [5] K. S. Morgan, P. Modregger, S. C. Irvine, S. Rutishauser, V. A. Guzenko, M. Stampanoni, C. David: *Opt. Lett.* **38**, p.4605-4608 (2013).

(Spring-8/SACLA Research Frontiers 2015 p.32-33 より転載)

(SPRUC 2015 Young Scientist Award 受賞 研究報告)

高分解能かつ色収差のない結像型 X 線顕微鏡の開発

大阪大学大学院 工学研究科
松山 智至

Abstract

これまで開発されてきた高空間分解能な結像型 X 線顕微鏡は強い色収差を持っていた。顕微分光などの高度なアプリケーションを遂行するためには、この色収差の問題を解決することが必要不可欠である。本研究では、全反射ミラーに基づいた Advanced Kirkpatrick-Baez ミラー光学系を開発することで、高分解能かつ色収差のない結像型 X 線顕微鏡を構築した。超高精度ミラーを作製し、また、これを高精度にアライメントすることで、色収差がない条件下では世界で初めて 50 nm の空間分解能を達成した。

1. はじめに

『百聞不如一見』は、「何事も自分の目で直接見た方がよくわかる」という意味の中国の故事であるとともに、顕微鏡開発者が好きな言葉の一つである。確かにいろいろな状況証拠を見せるより、一つの画像を見せた方が説得力が増す場合が多い。今日において、可視光顕微鏡や電子顕微鏡によって美しいマイクロ・ナノスケール画像を簡単に見ることができるようになった。しかし、これらとて見えないもの・現象はあるはずである。さらに説得力のある画像を撮るために、今でも世界中で様々な顕微鏡が開発され続けている。

X 線顕微鏡もまたその発展中の顕微鏡の一つである。これを使えば他の顕微鏡では見られない面白いものを見ることができ、短い波長であるため高い分解能が期待でき、X 線の持つ高い透過能を生かして物質内部を見ることができ、高いエネルギーを生かして分析（蛍光 X 線分析、XAFS 分析など）しながら見ることができ、そのため、様々な X 線顕微鏡（結像型、走査型、レンズレスイメージング型…）が開発されている。本解説は、結像型にフォーカスを当て、筆者が開発中の新しい顕微鏡について解説する。

先人の努力（フレネルゾーンプレートの開発^[1,2]、X 線屈折レンズの開発^[3]）によって X 線を結像することはそれほど難しくはなくなった。一方で未だ解決できない問題も存在する。それは色収差なく結像することである。色収差は波長によって焦点距離が

変わる現象として理解できる。今のところ、放射光実験では高分解能な分光器を用いているため、あまり色収差が議論されることはないが、今後登場する様々なアプリケーション（顕微分光など）を考えると、色収差なく結像できる結像システムが望まれている。

色収差をなくす方法の一つとして、X 線全反射現象に基づいた反射レンズが知られている。X 線全反射現象は、波長依存性が非常に低いため、実用的には色収差はほぼないと考えてよい。また、全反射現象は高い反射率を持つため、高い結像効率（レンズに入射する光の内、結像に寄与する光の割合）を実現できる。一方で、デメリットは、ミラー作製が難しい点と、複数曲面を組み合わさなければならない関係でそのアライメントが難しい点である。

本研究の目的は、様々な困難を有する結像ミラーを使って高分解能かつ色収差のない顕微鏡を開発することであり、これによって結像ミラーに関する様々な技術を確立することである。

2. Advanced Kirkpatrick-Baez ミラー光学系

本研究では、結像ミラーとして、Advanced Kirkpatrick-Baez (KB) ミラー^[4] (図 1(b)) を採用した。本光学系は、一次元的には、Wolter ミラー^[5] (図 1(c)) と同等であって、これらが KB ミラー^[6] (図 1(a)) のようにタンデムに直交配置されている。通常、集光光学系として用いられる KB ミラー光学系では、コマ収差（光軸からずれて入射した光がぼ

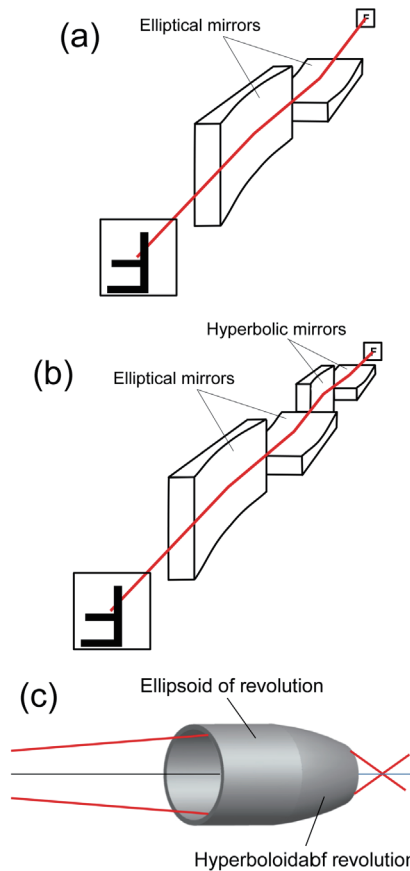


図1 様々なX線ミラー。(a) Kirkpatrick-Baezミラー、(b) Advanced Kirkpatrick-Baezミラー、(c) Wolterミラー。

ける現象)が強く、広い視野を得られない。一方で、Advanced KBミラーやWolterミラーでは、2枚の反射面(楕円と双曲)を経由することでコマ収差がほとんど補正されている(KBミラーに2枚のミラー加えることでコマ収差を補正しているため、“Advanced”KBミラーと呼ばれている)。あえて、WolterミラーではなくAdvanced KBミラーを採用した理由は、ミラー作製難易度を下げることである。Wolterミラーのような立体的なミラーでは、サジタル方向(光軸と直交する方向)に非常に大きな曲率を持ち、さらにそれが円筒の内面にあるため、加工と形状計測が非常に難しい。これを回避するために、Advanced KBミラーでは、縦横方向を別々のミラーペアで結像する(KBミラーと同じコンセプト)。これによって、ミラー形状はほとんど平坦な一次元的な形状を有するミラーとなり、これは現在の技術でも作製可能である。

ただし、そうは言ってもその実現難易度は非常に

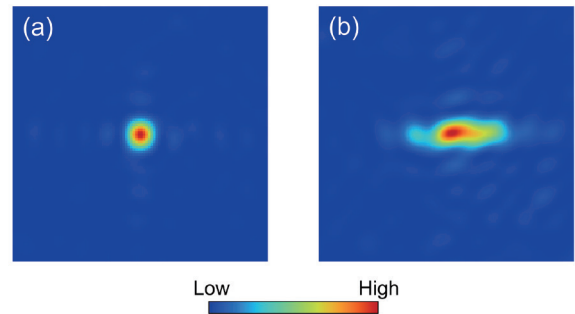


図2 波動光学シミュレータによって計算した点広がり関数。(a) 理想的な状態、(b) ミラー全体を80 μrad 傾けた状態。X線エネルギー：10 keV。

高い。初めに知らなければならないことは、どの程度の作製精度とアライメント精度が必要であるのかである。目指す分解能は回折限界近傍であるため、フレネルキルヒホッフ回折積分に基づいた波動光学シミュレータを開発し、その見積もりを行った^[7,8]。本シミュレータは、ミラー上に形状誤差を与えたり、ミラー配置にずれを与えたりでき、その状況を考慮した上で反射ごとにステップバイステップで波動伝搬を計算できる。これによって、どの程度の誤差まで許されるのかを正確に計算した。許容アライメント誤差解析の一例として、理想的な場合と、2つのミラーを同時に傾けた場合(つまり off-axis 条件)について計算した結果を示す(図2)。理想ミラー配置でも点広がり関数がボケている理由は、回折の影響であり、これが回折限界に相当する。様々な計算結果より、表1に示すようなアライメント精度が

表1 許容アライメント精度

アライメント軸	許容誤差	
	縦結像	横結像
入射角 (μrad)	+/-88	+/-57
相対角 (μrad)	+/-2	+/-10
並進 (μm)	+/-0.75	+/-1.0
ローリング・直角度 (μrad)	+/-40	+/-50

必要であることがわかった。これらを同時に達成することは非常に難しいが、工学的には不可能な値ではない。また、同様に許容形状誤差についても解析した。この結果は、簡易的な見積もりが可能なブラッグの式¹⁹⁾から得た結果とよく一致し、およそ3 nmとなった。さらに言うなら、縦横方向はそれぞれ2回の反射を経るため、このような形状誤差が波面誤差として蓄積される。有効視野全体で分解能に乱れないためには、各反射で1.5 nm ($\lambda/8$ に相当)以下の許容誤差に抑えることが求められる。この点はKBミラーよりも厳しい条件であり、KBミラーのおよそ半分の形状誤差しか許容できないことになる。

このような作製誤差1.5 nmという値は、非常に高精度な非球面ミラーを作製しなければならないことを意味する。この精度を満足するミラーを作製するために、大阪大学山内研究室で開発されたEEM¹¹⁰⁾とステッチング干渉計^{111,12)}を用いた。EEMは、スラリー（普通はコロイダルシリカと水）をノズルから吐出し、局所的に研磨する手法である。化学的除去作用が特に強く働くため、下地の構造を乱すことなく、原子一層ずつ除去していくことができる。微粒子と基板の接触は基板表面の凸部でしか起こらないため、凸部のみが選択的に除去（自動平滑化作用）される点が非常にユニークである。この結果、X線ミラーに必要な0.2 nm RMS以下の表面粗さが得られるわけである。このスラリー供給をコンピュータ制御することで、優れた表面粗さだけでなく所望の形状をも得ることができる。ただし、その精度はインプットする形状誤差データに依存するため、正確な形状計測データは必要不可欠な情報である。高精度な形状計測を実現するために、ステッチング干渉計を用いた。本手法は、干渉計で計測されたデータを正確につなぎ合わせるというシンプルな手法であるが、現在でもX線ミラー計測において最も有効な手法の一つとして知られている。本手法では約1 nmの形状計測精度を達成できる。これらの方法を駆使して、4枚のX線ミラーを作製した。図3に作製したミラーの形状とその形状誤差を示した。約1 nmの精度で楕円と双曲形状を作製することに成功した。最終的に、マグネトロンスパッタ成膜装置を用いて白金を80 nm成膜し、全反射ミラーとして完成させた。

4枚のミラーをアライメントするシステムは、弾

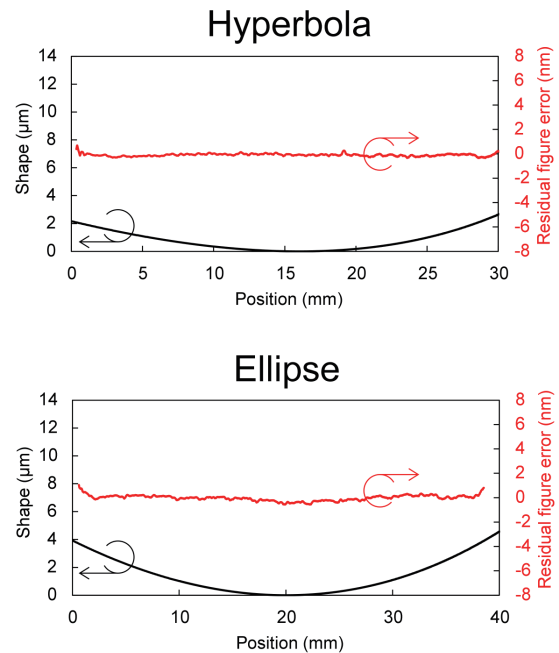


図3 作製したミラーの形状と形状誤差。

性ヒンジとアクチュエータからなる自作の精密チルトステージや自動ステージから成り、上述した許容誤差以上の精度を持つ。また、4枚のミラーの姿勢をモニターするために、オートコリメータとレーザー変位計からなる形状・角度計測装置が取り付けられている。詳細は省くが、本システムを使い、決められた手順に従ってアライメントしていくことで、許容アライメント精度以上を達成することができた^{18,13)}。

3. 性能評価実験 – その1 –

開発した結像システムの性能評価実験をSPRING-8 BL29XUにて実施した。縮小結像実験^{18,14)}なども実施したが、今回は拡大結像実験についてのみ説明する。拡大結像実験では、コンデンサー（2枚の平面ミラーと2枚の楕円ミラーから成る）を使って試料を臨界照明し、その後、その散乱光を結像ミラーで45 m下流のX線カメラ（シンチレータ厚：10 μm 、実効ピクセルサイズ：3.1 μm ）に結像した。図4(b)に得られた結果を示す。コントラスト解析の結果から分解能（コントラストが26.5%以上で可視化された最小構造）は縦90 nmと横120 nmであった¹³⁾。この結果はこの時点で全反射ミラーを使って得られた最小分解能であったが、目標の50 nmには到達できていなかった。原因は、ミラー

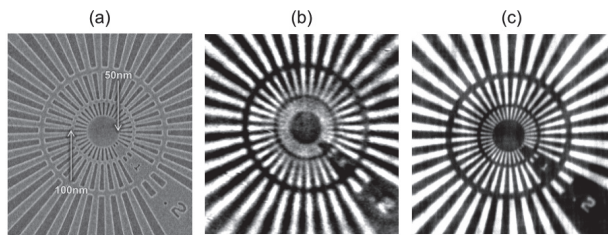


図4 明視野イメージ。(a) SEM、(b) 旧型による結像(露光時間:150秒)、(c) 新型による結像(露光時間:60秒)。X線エネルギー:9.881 keV。試料は電子ビームリソグラフィで作られテストチャート(材質:タンタル、最小線幅:50 nm、厚み:200 nm(b), 500 nm(c))。

姿勢の不安定性(温度変化でアライメントが徐々に変化していた?)やアライメントの難しさに起因していると考えた。特にユーザーに使ってもらえる光学系の開発を目指す場合、開発者でも手を焼くシステムというのは到底受け入れられないはずである。

4. 一体型結像ミラーの開発

比較的開発が容易と考えたこの旧式の Advanced KB ミラー光学系の開発が先行したが、これと並行して、一体型結像ミラーを用いた新型の Advanced KB ミラー光学系の開発を進めた^[15]。一体型結像ミラーは、楕円と双曲が1枚の基板上に作製されたもので、楕円と双曲が完全に固定された結像ミラーである(図5)。楕円と双曲の相対位置は結像特性に大きな影響を与える敏感な箇所である。この部分を固定することができれば、使い勝手と安定性を大幅に改善できる。

ミラー形状は、全体的には非常に急峻なV字状となり(図5左)、その個々の形は楕円と双曲になる。作製法に関する詳細は省くが、様々な計測装置を駆使して、これらの形状を正確に計測し、コンピュータ制御 EEM を使って形状修正した。最終的には、1 nm 精度でミラーを作製することができ、これは

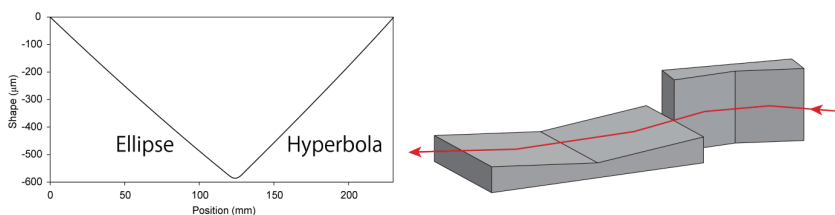


図5 一体型結像ミラーで構築した Advanced KB ミラー。

見積もった許容誤差を下回った。このように一体型結像ミラーを正確に作製する技術を確認することができた。

5. 性能評価実験 – その2 –

図4(b)の実験と同じ拡大結像実験を試みた。異なる点は、コンデンサーにポリキャピラリーレンズを使用し、光学素子数をさらに少なくした点である。これによって結像光学系だけでなく光学系全体の安定性を向上させることができた。ビームラインと光学系全体の調整も含めた24時間以内で、50 nm 幅のラインアンドスペースを容易に見ることができた。最終的に得られた結果を図4(c)に示す。コントラストの高い明瞭なパターンを得ることができた。これによって、世界で初めて色収差なしかつ50 nmの空間分解能を有する顕微鏡の開発に成功した^[16]。本顕微鏡システムは予想通り非常に安定であった。実験ハッチは振動対策のため空調をOFFにしていたが(室温が0.3°Cも変化した)、20時間後であっても像質にほとんど変化がないことを確認している。

6. まとめと応用展開

高精度な全反射結像ミラーを使うことで、高分解能かつ色収差のない結像型X線顕微鏡を開発した。テストチャートの観察の結果、50 nmの空間分解能を有していることが確認できた。

本結像光学系は非常に汎用性が高いため、すぐにも様々な応用が可能である。例えば、高分解能XAFSイメージング、蛍光X線イメージングである。特に蛍光X線イメージングは、色収差がないという特徴を最大限享受できる面白いアプリケーションである。また、本光学系は結像光学系であるが、これを集光光学系として利用しても有用と考える。通常、KBミラーはその入射角が集光径にとっても敏感であるが、本結像ミラーは視野が広いため入射角誤差の許容度は大きい($\pm 80 \mu\text{rad}$)。そのため、本光学系を集光光学系として用いれば、長期間集光径を崩すことのない高い安定性を持つ集光システムを開発できる。その他、共鳴非弾性散乱用のイメージングスペクトロメータを構成する光学系^[17]として

用いるなども提案されている。

今後、次世代光源 (SPRING-8-II、SLIT-J など) の登場に伴い、ユーザーが光学系に期待する性能も格段に高まると予想される。本光学系はきっとそのようなユーザーの期待に応えるものになると確信できる。また、さらなる改良をどんどん進めていこうと考えている。

謝辞

共同研究者である大阪大学 山内和人教授、安田周平氏、山田純平氏、株式会社ジェイテックコーポレーション 岡田浩巳氏、理化学研究所 石川哲也センター長、矢橋牧名グループディレクター、香村芳樹ユニットリーダーに深く感謝します。BL29XUでの実験は理化学研究所の手厚い支援の下実施されました。

参考文献

- [1] T.-Y. Chen, Y.-T. Chen, C.-L. Wang, I. M. Kempson, W.-K. Lee *et al.*: *Opt. Express* **19** (2011) 19919-19924.
- [2] Y. Suzuki, A. Takeuchi, H. Takenaka and I. Okada: *X-Ray Opt. Instrum.* **2010** (2010) 1.
- [3] C. G. Schroer, O. Kurapova, J. Patommel, P. Boye, J. Feldkamp *et al.*: *Appl. Phys. Lett.* **87** (2005) 124103.
- [4] R. Kodama, N. Ikeda, Y. Kato, Y. Katori, T. Iwai *et al.*: *Opt. Lett.* **21** (1996) 1321-1323.
- [5] H. Wolter: *Ann. Phys.* **445** (1952) 94-114.
- [6] P. Kirkpatrick and A. V. Baez: *J. Opt. Soc. Am.* **38** (1948) 766-774.
- [7] S. Matsuyama, M. Fujii and K. Yamauchi: *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res.* **616** (2010) 241-245.
- [8] S. Matsuyama, N. Kidani, H. Mimura, Y. Sano, Y. Kohmura *et al.*: *Opt. Express* **20** (2012) 10310-10319.
- [9] H. Mimura, S. Handa, T. Kimura, H. Yumoto, D. Yamakawa *et al.*: *Nat. Phys.* **6** (2010) 122-125.
- [10] K. Yamauchi, H. Mimura, K. Inagaki and Y. Mori: *Rev. Sci. Instrum.* **73** (2002) 4028.
- [11] K. Yamauchi, K. Yamamura, H. Mimura, Y. Sano, A. Saito *et al.*: *Rev. Sci. Instrum.* **74** (2003) 2894.
- [12] H. Mimura, H. Yumoto, S. Matsuyama, K. Yamamura, Y. Sano *et al.*: *Rev. Sci. Instrum.* **76** (2005) 045102.
- [13] S. Matsuyama, Y. Emi, H. Kino, Y. Kohmura, T. Ishikawa *et al.*: *Opt. Express* **23** (2015) 9746-9752.

- [14] S. Matsuyama, T. Wakioka, N. Kidani, T. Kimura, H. Mimura *et al.*: *Opt. Lett.* **35** (2010) 3583-3585.
- [15] S. Matsuyama, H. Kino, S. Yasuda, Y. Kohmura, H. Okada *et al.*: *Proc. SPIE* **9592** (2015) 959208.
- [16] S. Matsuyama, S. Yasuda, J. Yamada, H. Okada, Y. Kohmura *et al.*: *submitted*.
- [17] T. Warwick, Y. De Chuang, D. L. Voronov and H. A. Padmore: *J. Synchrotron Radiat.* **21** (2014) 736-743.

松山 智至 MATSUYAMA Satoshi

大阪大学大学院 工学研究科
 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1
 TEL : 06-6879-7286
 e-mail : matsuyama@prec.eng.osaka-u.ac.jp

(SPRUC 2014 Young Scientist Award 受賞 研究報告)

高圧高温その場 X 線ラミノグラフィーで切り拓く 新しい超高压地球科学

愛媛大学 地球深部ダイナミクス研究センター
野村 龍一

Abstract

地球内部の構造やダイナミクス、さらにはどのようにして地球が現在の姿になったのかを理解するためには、地球を構成する物質（ケイ酸塩や鉄合金）を地球深部に対応する超高压高温環境におき、その物理的・化学的性質を調べることが必要である。ダイヤモンドアンビル高圧発生装置によって地球中心までの超高压高温極限環境を静的圧縮下で実験室に再現できるようになった今、高圧試料から「何の」情報を引き出せるかといった測定の新しいアイデア・技術進化が地球科学に新たな知見を与えてくれる。本稿ではそのような一例として我々が現在開発を行っている、超高压その場での X 線ラミノグラフィーを用いた化学的 3D イメージング法について進展を紹介する。

1. はじめに

地球の内部はその中心から鉄合金でできたコア（深さ 2,900~6,400 km）、ケイ酸塩でできたマントル（深さ約 35~2,900 km）と地殻（地表までの深さ）からできている。マントルやコアといった地球深部は直接探査が困難で（ロシアのコラ半島超深度掘削坑が世界記録で深さ 12 km）、観測手段が地震波など間接的なものに限定されている。地球内部は深くなるにつれて圧力、温度ともに増加し、マントル最下部では 136 GPa, 約 3,500°C、地球中心では 364 GPa, 約 5,000°C に達する（1 GPa はおよそ 1 万気圧）。このような地球内部の構造や進化、ダイナミクスを知るうえでは、実際の地球深部の圧力温度環境を実験室に再現し、地球を構成する物質の様々な物理的・化学的な性質を調べることが重要となる。

現在ではレーザー加熱式ダイヤモンドアンビル装置（図 1）を用いることで、地球中心までの圧力温度環境を実験室に再現できるまでになっている^[1]。ダイヤモンドアンビル装置では、向かい合う二つの尖ったダイヤモンドの間に微小な試料を挟み、圧力を封じ込めるためのガスケットとともに押し込み、圧力をかける。このようなジオメトリ上の制約の中で、様々な測定に関する試行錯誤や技術革新が常に地球科学に新しい知見をもたらしてきた。特に放射

光 X 線を利用することで「その場測定」の幅が広がり、飛躍的にサイエンスが発展してきた。

その中で我々は、はやぶさサンプルにも適用された化学的な X 線 3D イメージング法^[2]に着目し、高圧試料への適用を試みてきた。この手法では鉄の K 吸収端を挟む二つの X 線エネルギーを用いて試料の CT 撮像を行い、比較することで試料の密度分布のほか、鉱物種や組成（特に鉄濃度）といった化学的な情報も得られる。我々は以前、マントル物質の部分熔融液が鉄に富むこと^[3]を利用し、この手法を用いてマントル物質の融け始めの温度（ソリダス



図 1 ダイヤモンドアンビル装置 (DAC)。目的に合わせて様々な型の DAC が開発されている。右は本研究で開発したラミノグラフィー撮像用ダイヤモンドアンビル装置。対抗する 1 対のダイヤモンドアンビルの間に試料を挟み加圧する。白枠が組立後（実験時）の様子。

温度)を全マントル圧力下で決定した^[4]。これらの成果、地球科学的意義については本誌の過去の解説記事を参照されたい^[5]。

本稿ではその後の技術開発や、それによって展開されつつある新しい超高圧地球科学について紹介する。本研究はすべて大型放射光施設 SPring-8 のビームライン BL47XU で行われた。

2. 「高圧その場」化学的 3D イメージング

我々はまず、ダイヤモンドアンビル装置を用いた高圧その場でのイメージング手法開発を行った。従来、高圧その場での 3D イメージングには、X 線 CT 法がよく用いられてきた^[6]。しかしながら X 線 CT 法ではそのジオメトリ (図 2) から、(a) X 線が封圧ガasket を通過するため、ガasket 素材は X 線が透過するような軽元素に限られること、(b) X 線がサンプル室を横断するため、サンプル室の複雑化 (サンプル室周りにヒーターや電極を埋め込むこと) が難しいこと、といった技術面・応用面で様々な問題があった。これらは特に、鉄の K 吸収端近くの低い X 線エネルギーを用いる化学的イメージングではクリティカルな問題となる。そこで我々は新たに X 線ラミノグラフィーを用いた高圧その場イメージングの手法開発を行った^[7]。図 2 に示すように、ラミノグラフィーでは、入射 X 線に対して試料回転軸を傾けて画像を収集する。この手法では X 線が試料のほか、ダイヤモンドアンビル内のみを最短パスで通過するため、(a) 試料以外での X 線の吸収が最小限に抑えられること、(b) 試料周りが複雑化可能になること、など X 線 CT 法の弱点を克服できる。また、ダイヤモンドアンビル装置では圧力

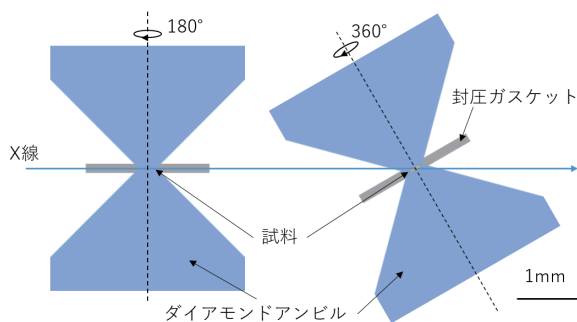


図 2 X 線コンピュータ断層撮影 (CT) 法 (左) と X 線ラミノグラフィー撮像法 (右) のジオメトリの違い。ラミノグラフィー法では入射 X 線に対して試料回転軸が傾いている。

を支える柱がどうしても 1 回転撮像中に影をつくるため、X 線ラミノグラフィーの方が質の高い断面像を再構築できる^[8]。我々は現在までに地球マントルの全域をカバーする圧力での高解像度 (ボクセルサイズ約 40 nm) イメージングに成功している。

3. 高圧「高温その場」化学的 3D イメージング

ラミノグラフィーを用いた高圧その場イメージング法を高温へ拡張するため、ファイバーレーザー、および抵抗加熱による高温実験系の導入を行った (図 3)。レーザー加熱では超高温が発生可能である一方、非常に大きい温度勾配が付随する。また、試料によって加熱に適したレーザーの波長が異なるため、試料以外にレーザー吸収材が必要となる場合もある。一方でジュール熱による抵抗加熱法は温度勾配が小さく、試料によらず高温が発生可能であると

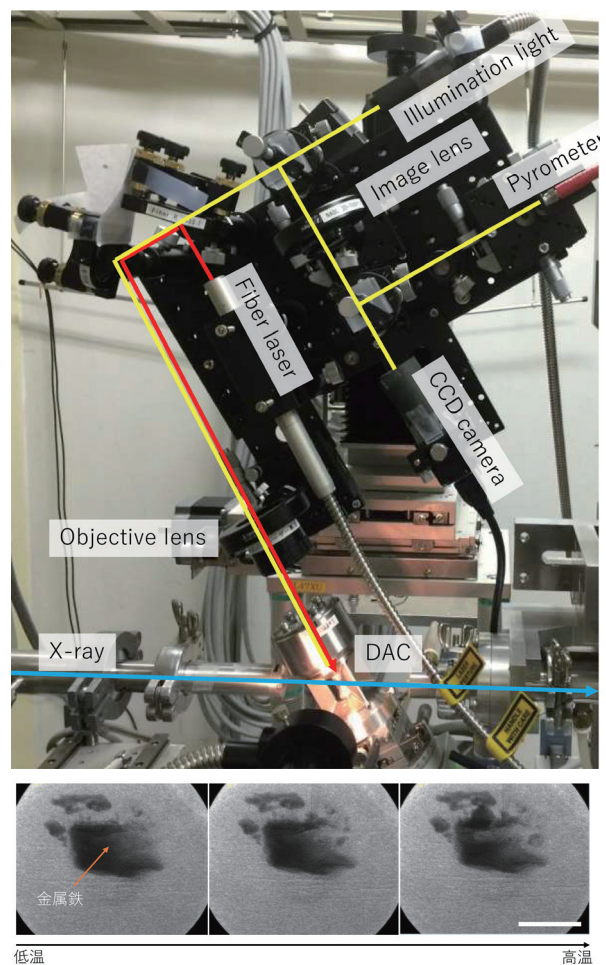


図 3 (上) レーザー加熱実験系 (2016A 時点) と (下) 金属鉄の融解実験の様子。スケールバーは 20 μm 。

いう長所がある一方で、レーザー加熱に比べると実験可能温度は低く、電極などの複雑なサンプル周りのセットアップが必要となる。そのため実際の実験では目的に応じて二つの加熱法を使い分けることが必要となる。

我々はBL47XUにレーザー加熱実験系を立ち上げた。図3に2016A時点でのレーザー加熱光学系とX線ラジオグラフィーによる圧力25.6 GPaでの鉄の融解実験の様子を示す。レーザー加熱によって鉄箔からバブルのようなものが生じているのが観察できる。レーザー加熱前後でX線ラミノグラフィー撮像を行うことにより、融解による3Dテクスチャの変化を追うことが可能である。鉄の融点は地球コアの形成や構造を知るうえで最も基本的で重要な情報であるが、現在までに様々な測定手法(表面スペクルパターン、X線回折、XANES)によって異なる結果が報告されている。イメージングと次節で説明するX線回折の複合測定によって、将来的にこれらの統一的な解釈が可能になるかもしれない。また、現在ではX線に透過なボロン添加ダイヤモンドヒーターを用いることで、350度視野を遮ることがない抵抗加熱実験も可能になってきている。

4. 動的物性(レオロジー)研究への応用

本プロジェクトで開発している化学的イメージングは参考文献[5]で扱った地球の形成や進化だけでなく、地球内部の動的物性(物質の塑性変形や流動)を知るうえでも強力な武器となる。物質の流動特性を理解するためには、試料の歪と応力をどれだけ精度よく決められるかが一つのカギとなる。応力はX線回折、歪は歪マーカのX線イメージングにより高圧その場で決定される。このような研究は今までにD-DIA装置^[9]や回転ドリッカマー装置^[10]を用いて、主に30 GPaまでの圧力で行われてきた。そこで本研究ではダイヤモンドアンビル装置をベースとした変形装置である回転式ダイヤモンドアンビル装置の技術開発を行った^[11]。新しくナノ多結晶ダイヤモンド^[12]をアンビル素材として用いることで、全マントルをカバーする圧力での変形実験に成功している。ダイヤモンドアンビル装置では加圧と回転による二つの変形が起こるため、3Dでの歪マーカのイメージングが必須となる(図4)。下部マントルの代表的な鉱物であるブリッジマナイトとフェロペリクレス混合物の予察的な変形実験では、化学

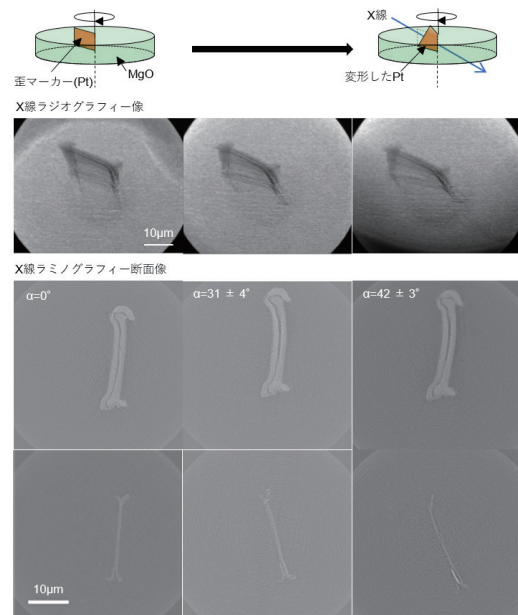


図4 ペリクレス(MgO)の約50 GPaでの変形実験の様子^[11]。上から変形実験の模式図、歪マーカ(白金)のラジオグラフィー像とラミノグラフィーによって再構築された断面像(代表例として加圧軸方向に11.91 μm離れた二枚の断面図が示されている。実際は約40 nm間隔で数百枚の連続した断面像がある)。左から右へ変形が進む。

的イメージングによって高圧その場でマントル鉱物の粒サイズや形を決定することに成功している。

さらにフラットパネル(C9730DK-10, 浜松ホトニクス)を持ち込み、ダイヤモンドに挟まれた試料のX線回折測定にも成功している。これらの技術を組み合わせることで、X線回折とX線3Dイメージングの複合測定系を完成させ、今後超高压高温条件での地球深部物質のレオロジー研究を推進させていきたい。

以上のように、本稿で紹介したX線ラミノグラフィー法を高圧地球科学の重要な諸問題に応用することで、地球の形成や化学進化^[5]、ダイナミクス^[11]に対し、新たな知見を得ることが期待できる。

謝辞

上杉健太郎博士(JASRI/SPring-8)を始めとした共同研究者の方々(本稿で引用した論文の共著者の方々)へ深く感謝を申し上げます。ラミノグラフィー用ダイヤモンドアンビル装置のデザイン・開発には株式会社シンテックの栗尾文子氏の貢献が大き

い。本研究は大型放射光施設 SPring-8 の BL47XU を用いた一連の課題 (2015A1640、2016A1114、2016B1176) を通じて行われた。X 線ラミノグラフィの画像再構築には、星野真人博士 (JASRI/SPring-8) が開発したプログラムを用いた。

参考文献

- [1] S. Tateno, K. Hirose, Y. Ohishi and Y. Tatsumi: *Science* **330** (2010) 359-361.
- [2] A. Tsuchiyama *et al.*: *GCA* **116** (2013) 5-16.
- [3] R. Nomura *et al.*: *Nature* **473** (2011) 199-202.
- [4] R. Nomura *et al.*: *Science* **343** (2014) 522-525.
- [5] 野村龍一: SPirng-8/SACLA 利用者情報 **20** (2015) 9-11.
- [6] たとえば、H. Liu *et al.*: *PNAS* **105** (2008) 13229-13234.
- [7] R. Nomura and K. Uesugi: *Rev. Sci. Instrum.* **87** (2016) 046105.
- [8] 星野真人、上杉健太朗、竹内晃久、鈴木芳生、八木直人: *放射光* **26** (2013) 257-267.
- [9] Y. Wang, W. B. Durham, I. C. Getting and D. J. Weidner: *Rev. Sci. Instrum.* **74** (2003) 3002-3011.
- [10] D. Yamazaki and S. I. Karato: *Rev. Sci. Instrum.* **72** (2001) 4207-4211.
- [11] R. Nomura *et al.*: *Rev. High Press. Sci. Technol.* (2015) 3B09.
- [12] T. Irifune, A. Kurio, S. Sakamoto, T. Inoue and H. Sumiya: *Nature* **421** (2003) 599-600.

野村 龍一 *NOMURA Ryuichi*

愛媛大学 地球深部ダイナミクス研究センター
〒790-8577 愛媛県松山市文京町2-5
TEL : 089-927-8197
e-mail : nomura@sci.ehime-u.ac.jp

(SPRUC 2014 Young Scientist Award 受賞 研究報告)

CRISPR-Cas ヌクレアーゼの結晶構造

東京大学大学院 理学系研究科
西増 弘志

Abstract

原核生物のもつ CRISPR-Cas 系は外来核酸に対する獲得免疫機構としてはたらく。CRISPR-Cas 系にかかわる RNA 依存性ヌクレアーゼである Cas9 や Cpf1 はガイド RNA と相補的な二本鎖 DNA を特異的に切断する。近年、この性質を応用したゲノム編集技術の登場により、様々な生物のゲノム情報（生命の設計図）を「書き換える」ことが可能になってきた。これまでに我々は Cas9 および Cpf1 の結晶構造を決定し、その RNA 依存的な DNA 切断機構を解明してきた。また、Cas9 と Cpf1 の構造比較から、CRISPR-Cas ヌクレアーゼの作動機構の共通性および多様性が明らかになった。さらに、これらの構造情報は新規のゲノム改変ツールの開発にも大きく貢献してきた。

1. CRISPR-Cas 系

細菌などの原核生物のもつ CRISPR-Cas (clustered regularly interspaced short palindromic repeat-CRISPR-associated) 系はウイルスなどの外来核酸からの防御を担う獲得免疫機構としてはたらく^[1]。CRISPR-Cas 系は、(1) Adaptation、(2) Expression、(3) Interference の3つのステップからなり、crRNA (CRISPR RNA) と複数の Cas タンパク質が関与する。Interference のステップにおいて、特定の Cas タンパク質と crRNA が Cas-crRNA 複合体を形成し、crRNA と相補的な外来核酸を認識・切断する。Cas-crRNA 複合体の構造にもとづき、CRISPR-Cas 系は2つのクラスに分類される^[2,3]。クラス1 CRISPR-Cas 系には複数の Cas タンパク質からなる複合体が関与する一方、クラス2 CRISPR-Cas 系には単一の Cas タンパク質からなる複合体が関与する。クラス2 CRISPR-Cas 系は II 型、V 型、VI 型に分類される。

II 型 CRISPR-Cas 系においては Cas9 タンパク質が2種類のガイド RNA (crRNA および tracrRNA (trans-activating crRNA)) と Cas9-crRNA-tracrRNA 複合体を形成し標的二本鎖 DNA を切断する^[4] (図1A)。Cas9 は2つのヌクレアーゼドメイン (RuvC/HNH) をもち、HNH ドメインは標的 DNA のうちガイド RNA と相補的な DNA 鎖 (相補鎖) を切断する一方、RuvC

ドメインはもう一方の DNA 鎖 (非相補鎖) を切断する。標的 DNA の認識にはガイド RNA との相補性に加え、PAM (protospacer adjacent motif) とよばれる特定の塩基配列が標的配列の近傍に存在する必要がある。異なる生物種に由来する Cas9 のアミノ酸配列は多様であり、認識するガイド RNA や PAM の配列が異なる。たとえば、*Streptococcus pyogenes* 由来 Cas9 (SpCas9)^[4]、*Staphylococcus aureus* 由来 Cas9 (SaCas9)^[5]、*Francisella novicida* 由来 Cas9 (FnCas9)^[6] はそれぞれ NGG (N は任意の塩基)、NNGRRT (R は A または G)、NGG という配列を PAM として認識する。ガイド RNA のガイド配列 (20 塩基) は変更可能であるため、Cas9-sgRNA 複合体は PAM をもち、ガイド配列と相補的な標的二本鎖 DNA を特異的に

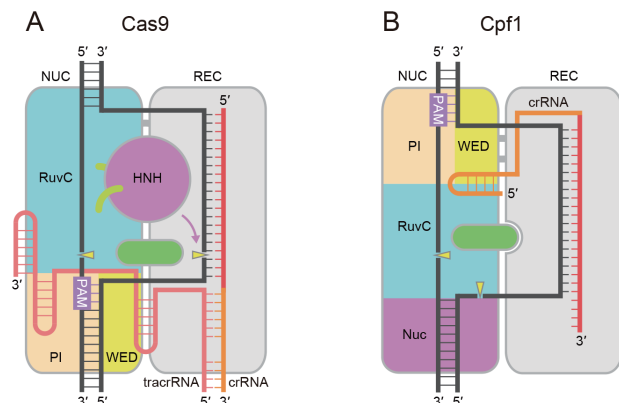


図1 Cas9 と Cpf1 の作動機構

切断することができる。さらに、crRNA と tracrRNA を連結した sgRNA (single-guide RNA) も同様に機能する^[4]。したがって、Cas9-sgRNA は効率的なゲノム編集ツールとして急速に普及してきた^[7]。さらに、DNA 切断活性をもたない Cas9 変異体 (dCas9) は RNA 依存的にゲノム DNA の狙った位置に結合するため、この性質を利用した様々な新規技術も開発されている。

V 型 CRISPR-Cas 系においては Cpf1 (CRISPR from *Prevotella* and *Francisella*) が crRNA と複合体を形成し標的二本鎖 DNA を切断する^[8] (図 1B)。Cpf1 は、(1) crRNA のみを利用し tracrRNA を必要としない、(2) TTTV (V は T 以外の塩基) という配列を PAM として認識する、(3) PAM から離れた位置で標的 DNA を切断し突出末端をつくる、(4) RuvC ドメインをもつが HNH ドメインをもたない、など Cas9 と異なる特徴をもつ。哺乳類細胞において活性を示す *Acidaminococcus sp.* 由来 Cpf1 (AsCpf1) や *Lachnospiraceae bacterium* 由来 Cpf1 (LbCpf1) は、Cas9 と異なる特性をもつゲノム編集ツールとして注目されている。

2. SpCas9 の結晶構造

2012 年、Cas9 は新規の RNA 依存性ヌクレアーゼであることが報告されたが^[4]、その作動機構は不明であった。そこで、Cas9 による DNA 切断機構の解明を目指し、SpCas9-sgRNA-DNA 複合体の結晶構造を決定した^[9] (図 2A)。結晶構造から、SpCas9 は 2 つのローブから構成されることが明らかになった。一方のローブは α ヘリックスからなる新規フォールドをもち、sgRNA-DNA の認識に関与していた。そこで REC (recognition) ローブと命名した。もう一

方のローブは 2 つのヌクレアーゼドメイン (RuvC/HNH) と C 末端ドメインから構成されていた。そこで NUC (nuclease) ローブと命名した。C 末端ドメインは新規フォールドをもち PAM と相互作用するのに適した位置に存在していた。構造情報をもとにした変異体解析の結果から、C 末端ドメインは PAM の認識にかかわることが示唆された。そこで C 末端ドメインを PI (PAM-interacting) ドメインと命名した。後日報告された SpCas9-sgRNA-DNA (PAM を含む) 複合体の結晶構造から、PI ドメインの Arg1333 と Arg1335 が NGG PAM を認識していることが明らかになった^[10]。RuvC ドメインは非相補鎖 DNA を切断するのに適した位置に存在していた一方、HNH ドメインは相補鎖 DNA と離れた位置に存在していた。したがって、DNA 切断の際、HNH ドメインは構造変化を起こすことが示唆された。sgRNA のガイド配列は相補鎖 DNA と RNA-DNA ヘテロ二本鎖を形成し、2 つのローブの間に結合していた。一方、sgRNA の他の領域は特徴的な立体構造をとり、Cas9 と広範囲に相互作用し複合体形成に貢献していた。以上の結果から、Cas9 の RNA 依存性 DNA 切断機構が説明された。

SpCas9-sgRNA-DNA 複合体の結晶構造から、sgRNA の 2 つのローブ領域は溶媒側に露出していることが明らかになった^[9]。この 2 つのローブ領域に MS2 ファージ由来コートタンパク質を特異的に認識する RNA 配列を融合した改変型 sgRNA を作製し、(1) dCas9、(2) 改変型 sgRNA、および、(3) 転写活性化因子を融合した MS2 コートタンパク質を哺乳類細胞に共発現させることにより、sgRNA 依存的に標的遺伝子を活性化することに成功した^[11]。

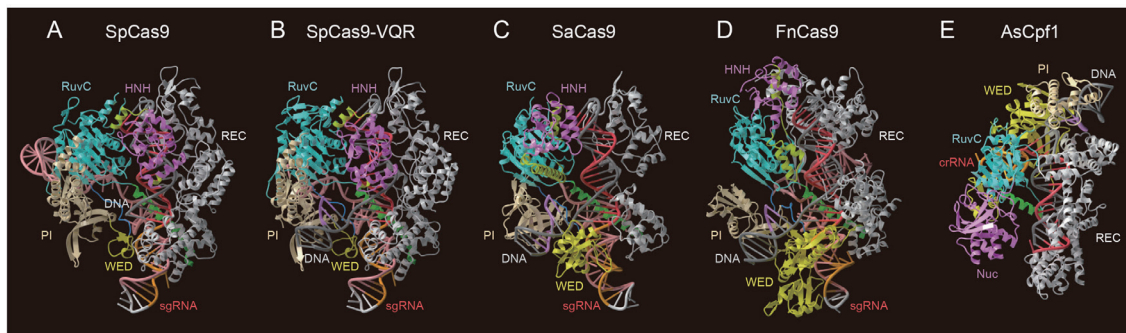


図 2 Cas9 と Cpf1 の結晶構造

(A) SpCas9-sgRNA-DNA 複合体

(B) VQR 改変型 -sgRNA-DNA 複合体

(C) SaCas9-sgRNA-DNA 複合体

(D) FnCas9-sgRNA-DNA 複合体

(E) AsCpf1-crRNA-DNA 複合体

3. SpCas9 改変体の結晶構造

SpCas9-sgRNA-DNA 複合体の構造情報は、DNA 切断精度の高い SpCas9 改変体^[12,13] や異なる PAM 配列を認識する SpCas9 改変体^[14] の開発にも貢献してきた。野生型 SpCas9 は NGG PAM を認識する一方、VQR 改変体 (D1135V/R1335Q/T1337R)、EQR 改変体 (D1135E/R1335Q/T1337R)、VRER 改変体 (D1135V/G1218R/R1335E/T1337R) はそれぞれ NGA、NGAG、NGCG を PAM として認識する^[14]。SpCas9 改変体による PAM 認識機構を解明するため、3 種類の SpCas9 改変体に関して、SpCas9-sgRNA-DNA 複合体の結晶構造を決定した^[15] (図 2B)。野生型 SpCas9 において PAM の 3 文字目の G は Arg1335 によって認識される一方、VQR/EQR 改変体において PAM の 3 文字目の A は R1335Q によって認識されていた。VRER 改変体においては PAM の 3 文字目の C は R1335E によって認識されていた。野生型 SpCas9 と SpCas9 改変体の構造比較から、R1335Q/R1335E 以外のアミノ酸置換は、PAM 近傍の二本鎖 DNA の糖-リン酸骨格の構造変化を誘起し、PAM の 3 文字目の塩基と R1335Q/R1335E との間の直接的な水素結合を可能にしていることが明らかになった。

4. SaCas9 の結晶構造

SaCas9 (1053 残基) は SpCas9 (1368 残基) に比べて小型であるため、ウイルスベクターへの導入効率の高いゲノム編集ツールとして注目されている^[5]。SaCas9 の作動機構の解明を目指し、SaCas9-sgRNA-DNA 複合体の結晶構造を決定した^[16] (図 2C)。SaCas9 は SpCas9 と同様に、2 つのローブからなる構造をもち、RNA-DNA ヘテロ二本鎖は 2 つのローブの間に結合していた。したがって、RNA 依存的な DNA 認識機構は両者において高度に保存されていることが示唆された。一方、SpCas9 と SaCas9 の PAM 特異性の違いと一致して、SaCas9 は PI ドメインの Asn985、Asn986、Arg991、Arg1015 を用いて NNGRRT PAM を認識していた。SpCas9 と SaCas9 の構造比較から、両者の間のドメイン構造の違いも明らかになった。SpCas9 と比較し、SaCas9 はコンパクトな REC ローブをもっていた。さらに、SpCas9 と SaCas9 において二本鎖 DNA とガイド RNA の間に結合するドメイン (WED ドメイン) は大きく構造が異なっていた。これらの比較から、SpCas9 と SaCas9 は構造の異なる

REC ドメインおよび WED ドメインを用いて sgRNA の構造の違いを特異的に認識していることが明らかになった。さらに、構造情報をもとに、SaCas9 を用いた転写活性化ツールおよび、誘導型 SaCas9 の作製に成功した^[16]。

5. FnCas9 の結晶構造

FnCas9 (1629 残基) は Cas9 タンパク質の中でも最もサイズが大きく、SpCas9 や SaCas9 との配列相同性も低い。FnCas9 の作動機構を解明するために、FnCas9-sgRNA-DNA 複合体の結晶構造を決定した^[6] (図 2D)。FnCas9 は SpCas9 や SaCas9 と類似の RuvC/HNH ドメインをもつ一方、FnCas9 の REC/WED ドメインは新規フォールドをとっていた。REC/WED ドメインの構造の違いと一致して、sgRNA の構造も大きく異なっていた。結晶構造から、NGG PAM は PI ドメインの Arg1556、Arg1585 によって認識されることが明らかになった。SpCas9 と FnCas9 の構造比較から、両者の NGG PAM 認識機構は異なることが明らかになった。さらに、構造情報をもとに FnCas9 に 3 つの変異を導入し、YG (Y は T または C) という配列を PAM として認識する FnCas9 改変体の作製に成功した^[6]。

6. AsCpf1 の結晶構造

Cpf1 は RuvC ドメインを除き Cas9 を含む既知タンパク質と相同性をもたないため、その DNA 切断機構は不明だった。Cpf1 による DNA 切断機構を解明するために、AsCpf1-crRNA-DNA 複合体の結晶構造を決定した^[17] (図 2E)。結晶構造から、Cpf1 は 2 つのローブ (REC/NUC) からなることが明らかになった。REC ローブは 2 つのドメイン (REC1/REC2) から構成され、NUC ローブは 4 つのドメイン (RuvC/WED/PI/Nuc) から構成されていた。RuvC ドメインを除く 5 つのドメインは新規フォールドをもっていた。crRNA の 5' 末端領域はシュドノット構造をとり WED/RuvC ドメインによって認識されていた。一方、crRNA のガイド配列は標的 DNA と RNA-DNA ヘテロ二本鎖を形成し、2 つのローブの間に収容されていた。TTTA PAM を含む二本鎖 DNA は歪んだ二重らせん構造をとり、WED/REC1/PI ドメインにより構造・配列特異的に認識されていた。Nuc ドメインは RuvC ドメインの近傍に位置し、相補鎖 DNA の切断に関与することが明らかになった。RuvC ドメインを除き Cas9 と

Cpf1は配列相同性をもたないが、両者は2つのローブから構成される全体構造を共通してもっていた。一方、PAM認識・DNA切断機構は大きく異なっていた。これらの比較から、Cas9とCpf1の間の機能収斂が明らかになった。

7. おわりに

近年の構造機能研究の進展により、Cas9やCpf1によるDNA切断機構の大枠は解明された。しかし、DNA切断におけるダイナミクスや触媒反応の詳細は不明である。さらに、最近の研究から、新規のCRISPR-Casヌクレアーゼも発見されている^[18,19]。今後の研究により、多様なCRISPR-Casヌクレアーゼの作動機構の全容解明、および、新規のゲノム改変ツールの開発が期待される。

謝辞

本研究は、MITのFeng Zhang博士、東京大学大学院理学系研究科の石谷隆一郎准教授、濡木理教授との共同研究として行った。

X線回折実験は、SPRING-8のBL32XUおよびBL41XU(課題番号2014A1356、2014B1223、2015A0119、2015B0119、2016A0119、2016B0119)において行った。

本研究は、JST戦略的創造研究推進事業(さきがけ)、JSPS科研費(26291010、15H01463)、文部科学省及び国立研究開発法人日本医療研究開発機構創薬等ライフサイエンス研究支援基盤事業(創薬等支援技術基盤プラットフォーム事業)の支援を受けて行った。

参考文献

- [1] R. Barrangou *et al.*: *Science* **315** (2007) 1709-1712.
- [2] K. S. Makarova *et al.*: *Nat Rev Microbiol* **13** (2015) 722-736.
- [3] H. Nishimasu and O. Nureki: *Curr Opin Struct Biol* **43** (2016) 68-78.
- [4] M. Jinek *et al.*: *Science* **337** (2012) 816-821.
- [5] F. A. Ran *et al.*: *Nature* **520** (2015) 186-191.
- [6] H. Hirano *et al.*: *Cell* **164** (2016) 950-961.
- [7] L. Cong *et al.*: *Science* **339** (2013) 819-823.
- [8] B. Zetsche *et al.*: *Cell* **163** (2015) 759-771.
- [9] H. Nishimasu *et al.*: *Cell* **156** (2014) 935-949.

- [10] C. Anders, O. Niewoehner, A. Duerst and M. Jinek: *Nature* **513** (2014) 569-573.
- [11] S. Konermann *et al.*: *Nature* **517** (2015) 583-588.
- [12] B. P. Kleinstiver *et al.*: *Nature* **529** (2016) 490-495.
- [13] I. M. Slaymaker *et al.*: *Science* **351** (2016) 84-88.
- [14] B. P. Kleinstiver *et al.*: *Nature* **523** (2015) 481-485.
- [15] S. Hirano, H. Nishimasu, R. Ishitani and O. Nureki: *Mol Cell* **61** (2016) 886-894.
- [16] H. Nishimasu *et al.*: *Cell* **162** (2015) 1113-1126.
- [17] T. Yamano *et al.*: *Cell* **165** (2016) 949-962.
- [18] O. O. Abudayyeh *et al.*: *Science* **353** (2016) aaf5573.
- [19] D. Burstein *et al.*: *Nature* doi:10.1038/nature21059 (2016).

※用語解説

・ゲノム編集

細胞の中でゲノムDNAが切断されると、修復機構により切断部位の再結合が起こる。この際、塩基の欠損や挿入などの変異が偶発的に生じる。ゲノム編集技術は、ゲノムDNAの狙った部位を人為的に切断し、修復過程における偶発的な変異を利用することによりゲノム情報を「書き換える」技術である。制限酵素は6塩基程度を認識し二本鎖DNAを切断するのに対し、ZFN(zinc finger nuclease)やTALEN(transcription activator-like effector nuclease)などの人工ヌクレアーゼは20塩基以上の配列を認識し二本鎖DNAを切断する。したがって、人工ヌクレアーゼを用いることによりゲノムDNAの標的部位を選択的に切断しゲノム編集を行うことが可能である。しかし、ZFNやTALENはタンパク質モジュールにより塩基配列を認識するため、標的配列ごとにタンパク質を設計しなければならないという問題点があった。一方、Cas9はsgRNAのもつガイド配列(20塩基)と相補的な二本鎖DNAを切断し、sgRNAのガイド配列は変更することができるため、簡便で迅速なゲノム編集ツールとして広く普及した。

西増 弘志 NISHIMASU Hiroshi

東京大学大学院 理学系研究科
〒113-0032 東京都文京区弥生2-11-16
TEL : 03-5841-4391
e-mail : nisimasu@bs.s.u-tokyo.ac.jp

BL24XU 実験ハッチの改造と 雰囲気制御型硬 X 線光電子分光装置の整備

兵庫県立大学 放射光ナノテクセンター

横山 和司、松井 純爾

マツダ株式会社 技術研究所

住田 弘祐

兵庫県立大学 高度産業科学技術研究所

梶野 雄太、渡邊 健夫

スプリングエイトサービス株式会社 技術部

野瀬 惣市、首藤 大器、竹内 和基

兵庫県立大学大学院 物質理学研究科

兵庫県立大学 放射光ナノテクセンター

籠島 靖、津坂 佳幸、高山 裕貴

Abstract

兵庫県立大学が管理運営するビームライン BL24XU は、様々な産業分野に対して放射光の高精度分析技術を提供してきた。また同大学の理学部エックス線光学講座が中心となって放射光利用技術の基礎研究に取り組み、その成果を産業界が求める材料評価の手法へと応用してきた。

BL24XU における放射光産業利用の新たな取り組みとして、兵庫県立大学とマツダ株式会社は、次世代自動車材料開発に向けた放射光分析、解析技術の活用研究を開始した。効率良い材料開発のため、元素レベルでのモデル化を目的とした最初の取り組みとして、BL24XU に専用実験装置である雰囲気制御型硬 X 線光電子分光装置を整備した。複合材料の界面を評価し、材料因子を精密に取得することで構造モデルの精密化と特性発現のメカニズム解明を目指している。

本報告では上記取り組みの中で、2016 年度に実施した BL24XU の装置改造ならびに整備状況、今後の研究計画について報告する。

1. はじめに

SPring-8 BL24XU は、建設当初より放射光技術の基礎研究をベースとして放射光の産業利用を展開してきたビームラインである^[1]。基礎研究では高輝度放射光源を活かした X 線マイクロビーム技術をコアにして、走査型 X 線顕微鏡、結像型 X 線顕微鏡、高感度歪み解析のためのマイクロビーム X 線回折、マイクロ XAFS などに取り組み、その中で整備された実験装置は産業界における材料評価へ提供してきた。またナノ構造評価用として小角 X 線散乱ならびに超小角 X 線散乱装置を、薄膜構造解析用として大型精密回折装置を備えている。

その中で大学と企業が製品開発を意識した本格的な共同研究のスタイルとして、マツダ株式会社と兵庫県立大学とが協力し、次世代自動車材料の開発

に向けた研究に着手した。マツダ株式会社が目指す材料のモデルベース開発スタイルの基盤技術の一つとして放射光による精密分析技術に注目し、その最初の取り組みとして 2016 年度は BL24XU の改造を行い、専用の実験システムを整備した。

2. BL24XU 改造の目的

日本の輸出総額の 20% を占める自動車製造事業は、日本における基幹産業の一つとして持続的な成長が期待されている。将来にわたり地球や社会とクルマが共存していくためには、環境保全と顧客満足を両立させる商品の開発が必要となっている。環境保全の観点から、クルマの開発では熱エネルギー利用効率の最大化、軽量化、電動化、再生可能エネルギー利用などの取り組みが進められているが、主要

な開発部分では燃料電池の電極や光触媒など、従来にはない機能を持つ部品や材料を創出することが不可欠となっている。それらの研究事例では、材料機能メカニズムを微細複合化で成立させていることが多い。特に複合化された成分間界面の化学結合や電子状態が機能向上要因となっている^[2,3]。また、従来より使用されてきた構造材料の接合部や、ゴム材料の使用部位においても、異種材料同士の界面状態がその特性に大きく影響することが分かっており、この場合も界面制御が重要となっている。

一方で、複雑化する材料構成と微細化する構造要件に対して、品質を維持しながら最大機能を得るためには、従来からの経験的手法に頼る開発では限界がある。電子状態計算や分子動力学法などの理論計算が重要視されている所以である。計算科学的手法で材料界面の構造を予想する場合、実使用条件における多くの不確定要因をも含めることが難しく、精度良い計算を実行できないことが多い。このため、その場観察の方法により材料の界面情報を分析することが期待されている。放射光を用いたX線光電子分光法は、電子的な情報を得るのに適した手法の一つであり、化学反応や電位変動に伴う界面成分間の電子分布を“視覚化”することが可能である。界面情報を理解しやすく、得られる情報を基にした理論計算も円滑に行えるものと期待される。

以上を踏まえて、界面構造、その場観察をキーと

して、BL24XUにおいて新しい実験装置を2016年度に導入した。SPring-8 先端触媒構造反応リアルタイム計測ビームライン BL36XU のグループが開発し、シエントオミクロン社が製作する雰囲気制御型硬X線光電子分光装置 NAP-HAXPES (Near-Ambient-Pressure Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy) の実験システムである^[4]。この装置を配置可能とするために、BL24XU の実験ハッチについても改造を施した。新しいビームラインのレイアウトを図1に示す。

3. BL24XU 整備内容

(1) 実験ハッチの改造

BL24XU は、8 の字アンジュレータを光源としたビームラインである。輸送部の上流に配置しているダイヤモンド二結晶分光器により A ブランチラインに単色ビームを供給している。A ブランチラインにはタンデム配置された実験ハッチ A1 および A2 があり、小角 X 線散乱、超小角 X 線散乱、斜入射 X 線回折の各手法が利用可能である。輸送部のメインストリームにおいてダイヤモンド分光素子を透過した放射光ビームは、下流に配置してあるシリコン二結晶分光器で分光される。光学ハッチ B2 および実験ハッチ B1 ではこの分光された単色ビームを利用した実験が可能である。またシリコン分光素子を光軸上から退避させることで、光学ハッチ B2 では

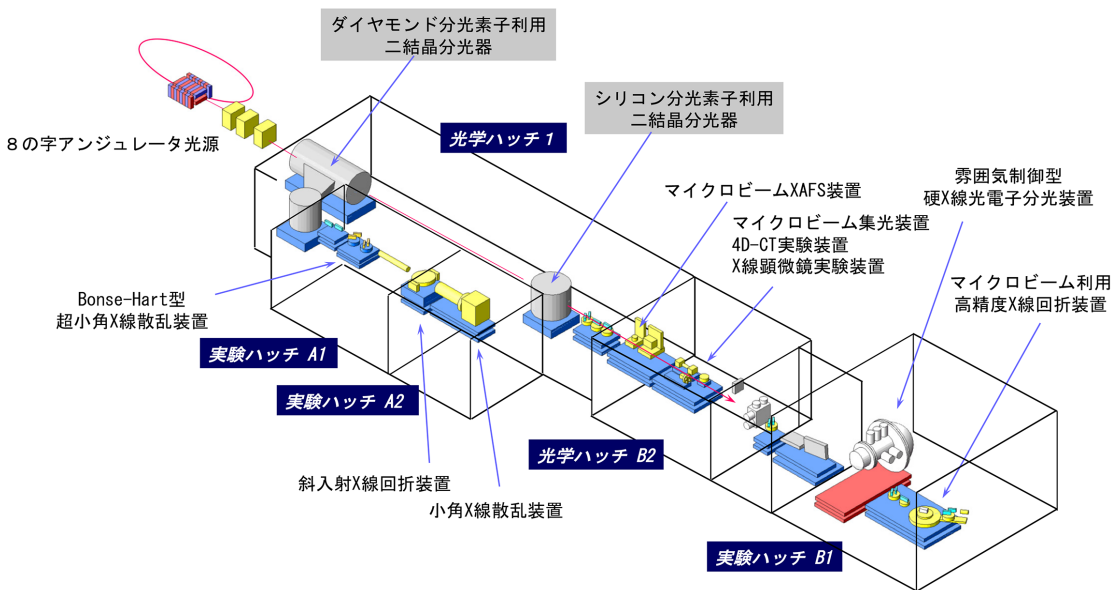


図1 新しいBL24XUの構成

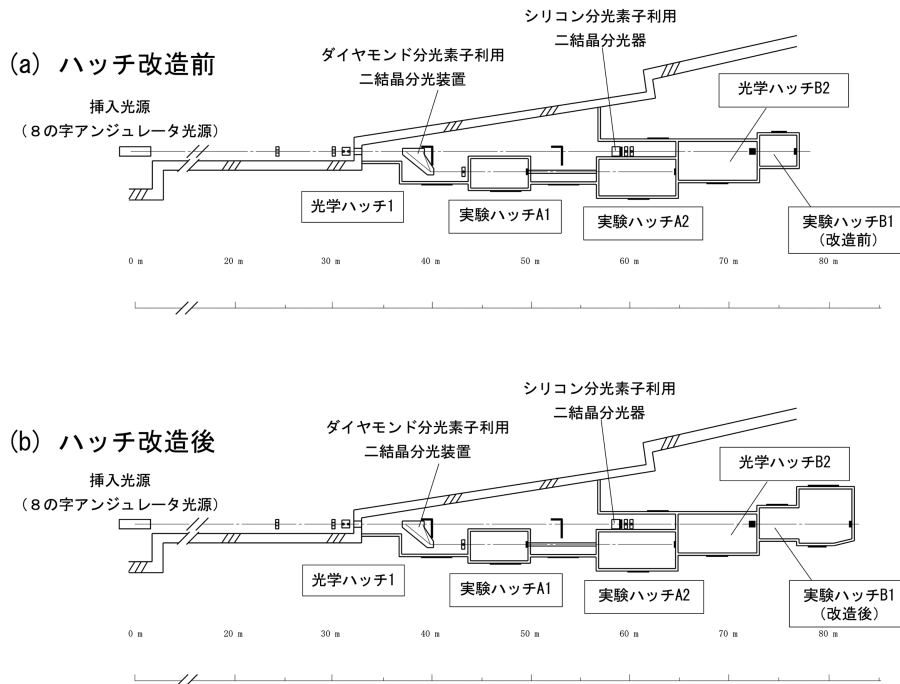


図2 実験ハッチ B1 の改造

白色ビームを利用した実験も可能である。

今回の整備対象である NAP-HAXPES 装置は、メインストリームの最下流にある実験ハッチ B1 に配置することとした。配置スペースを確保するために、実験ハッチ B1 を改造し拡大した。図2は改造前と改造後のハッチレイアウトを比較した図である。拡張領域は、幅を約 5 m とし、光軸方向に沿った長さを約 6 m 伸ばした。装置導入やメンテナンス性を考慮し、大型の手動扉を配置させるなど工夫を施した構造である。

ハッチ改造の経過としては、新しいハッチレイアウトでの遮蔽能力計算を反映させた申請資料を作成し、これを基に原子力規制庁への第 39 次変更申請を行うとともに、ビームライン改造に関する専用ビームライン審査委員会に諮った。以上の手続きに関しては、JASRI にご協力いただきながら進めることができた。建設の許可を得たうえで半年間の準備期間を経て夏季停止期間の 1 ヶ月間を費やしてハッチの改造工事を実施した。この改造工事と並行して HAXPES 運転のために必要となる電源容量の増設工事を行い、次いでハッチ改造に伴うインターロックの改造工事を実施した。改造後に課されている諸検査に合格し、下期のマシントイム開始と同時に新ハッチの利用運転も開始した。

(2) HAXPES 専用光学系

BL24XU の NAP-HAXPES は光子エネルギーとして 8 keV の放射光ビームを利用する前提で設計を進めた。この光子エネルギー成分については、8 の字アンジュレータ光源の 1 次光（水平偏光）を利用して供給することとした。BL24XU の光源の 1 次光ピークの光源輝度は、8 keV の場合の計算値として 1.4×10^{20} photons/sec/mrad²/mm²/0.1% b.w. である。

実験ハッチ B1 に単色ビームを供給するためのシリコン二結晶分光器には冷却水循環方式を採用している。搭載する直接冷却タイプの分光素子は、表面が (111) 面であるシリコン単結晶であり、これの 111 対称反射を利用している。二枚の分光素子の反射配置は水平面内の分散としている。熱負荷による第一結晶の歪みを抑制することを考慮し、分光器への入射ビームについては水冷式四象限スリットによってサイズを制限している。

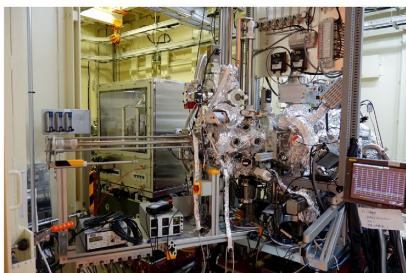
HAXPES 実験においてエネルギー分解能が高く、ビームサイズが数十マイクロメートルに集光されたビームを形成する目的で専用の光学系を整備した。主なコンポーネントは、チャンネルカット分光素子を利用した分光器と、楕円形状を有する二枚の X 線全反射ミラーで構成した KB ミラー (Kirkpatrick-Baez

mirror) の X 線集光用システムである。

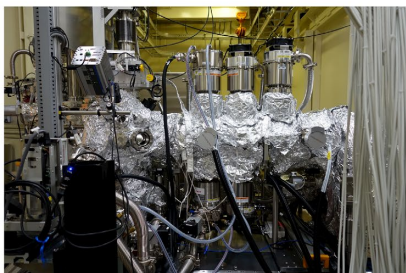
チャンネルカット分光素子は、シリコン (111) 面の高次反射として 333 反射と 444 反射の 2 種類を準備した。楕円形状ミラーについては、400 mm 長のシリコン基板表面を精密研磨したものにロジウムをコーティングしたものである。光学系の設計段階では、BL24XU で独自に開発した光線追跡コードを利用して各種パラメータを決定した。光学素子の組み合わせにより、光子エネルギー 8 keV において光学系が示すエネルギー分解能は 50~100 meV であると予想した。

コミッショニング段階では、水平方向 20 μm および鉛直方向 50 μm のサイズと、試料位置において 5×10^{10} photons/s の強度を有する単色ビームを形成し、これを用いて装置スタディを進めた。チャンネルカット分光素子は鉛直面内の分散配置とした 333 反射である。ビーム強度を高めることを目的として、分光器の液体窒素冷却方式化も検討中である。

(a) 分析チャンバ付近



(b) レンズ部付近



(c) 専用光学系ならびにエネルギー分析器付近

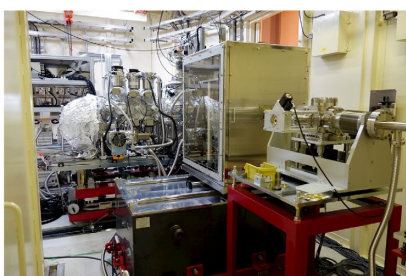


図 3 実験ハッチ B1 内の装置の様子

(3) NAP-HAXPES 装置の整備

NAP-HAXPES 装置については、2016 年度下期からの稼働を目指して設計、製作を進めた。BL36XU に整備された NAP-HAXPES 装置と同様のシステムを採用している^[3,5]。光電子アナライザは、レンズ部と半球型エネルギー分析器からなる。半球型エネルギー分析器はシエンタオミクロン社製 Scienta R4000 HiPP-2 を採用している。レンズ部の前段セクションには多段のターボ分子ポンプを搭載した差動排気システムを搭載している。アナライザ先端部には開口径の小さいアパーチャを取り付けている。以上の構成により、分析チャンバーでは数十 mbar 以下でのガス雰囲気条件を利用した測定が可能となっている。ユーティリティとして、分析チャンバーには加熱機能を備えている。サブチャンバーには予備加熱機能、蒸着処理機能がある。架台部には、NAP-HAXPES より下流にある装置の運転を考慮し、退避機構を設けている。これについても BL36XU の装置構成を参考とした。

図 3 に実験ハッチ B1 内の整備状況を示す。

4. 今後の利用計画

現在、2016 年秋のコミッショニング期間を経て利用実験を開始したところである。装置ならびに光学系の調整を 2016 年度に完了し、次年度より本格的な装置利用の研究を開始する予定である。最初の取り組みとして、自動車排気ガス浄化触媒に利用されるロジウム (Rh) 微粒子と金属酸化物 (SrTiO_3 、 CeO_2 など) との界面構造を調べる研究テーマの準備を進めているところである。触媒材料としての Rh 微粒子は、通常図 4 の TEM 像のように金属酸化物の表面に付している。この微粒子については、共存する成分やガス雰囲気、使用温度の条件によって図

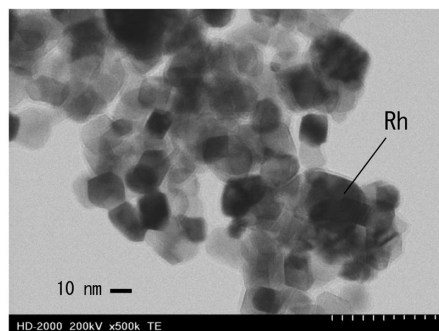


図 4 Rh 微粒子の TEM 像 (CeO_2 中)

5に示すように、粒子の表面層に修飾構造が形成されることが知られている。このような変化において、①ガス分子と表面修飾層の間、②表面修飾層とRh微粒子の界面層、③Rh微粒子と金属酸化物との界面のそれぞれの構造をNAP-HAXPESで解明し、機能制御と新たな機能付与の可能性を探る。特にガス分子との反応による電子の収受がRh3dの光電子ピークに与える影響については非常に良く研究されており¹⁶⁻⁸¹、その情報と比較を行いながら、また電子状態計算との比較を行いながら、3つの界面機能を演繹的に解析する。そこで得られる情報を実使用環境における最適機能を示す材料設計に活用していく予定である。

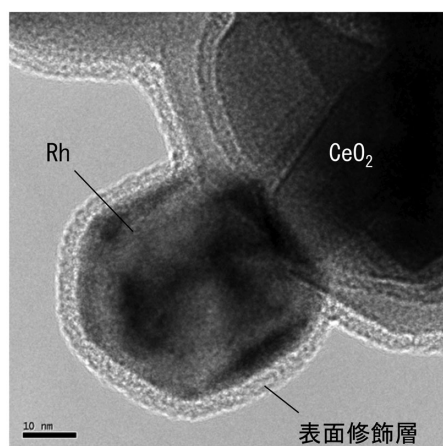


図5 表面修飾Rh微粒子 (CeO₂中)

5. まとめ

マツダ株式会社と兵庫県立大学は、次世代自動車材料の開発のための放射光による分析、解析技術の確立を目指した共同研究の取り組みを開始し、その中で2016年度はBL24XUの改造とNAP-HAXPES装置の整備を行った。コミショニングならびに調整作業を行い、2017年度より本格的な利用研究を開始する。研究成果は、積極的に論文や学会発表などで発信していく予定である。

謝辞

BL24XUの実験ハッチB1改造では、国立研究開発法人理化学研究所ならびに公益財団法人高輝度光科学研究センター (JASRI) の関係者の皆様にお世話になりました。特にJASRI光源・光学系部門の竹下邦和グループリーダーをはじめ、後藤俊治様、木村洋昭様、古川行人様、高橋直様、成山展照様、

石澤康秀様、坂川琢磨様、都筑之彦様、専用施設審査委員会の皆様には整備計画の段階から大変お世話になり、審査などの手続き、光源運転、建設、諸検査と、装置稼働に至るまでの間に多くのご指導とご協力を頂きました。NAP-HAXPES装置に関しましては、JASRIの宇留賀朋哉様、大学共同利用機関法人自然科学研究機構 分子科学研究所 物質分子科学研究領域の高木康多先生には大変お世話になり、技術的指導や貴重なご助言を頂きました。

お世話になりました皆様に対しまして、ここに御礼を申し上げます。ありがとうございました。

なお今回の装置整備後の実験につきましては、課題番号2016B3231で実施しました。

参考文献

- [1] Y. Tsusaka *et al.*: *Nucl. Instr. and Meth. A* **467-468** (2001) 670-673.
- [2] A. Kudo and Y. Miseki: *Chem. Soc. Rev.* **38** (2009) 253-278.
- [3] Y. Takagi *et al.*: *App. Phys. Lett.* **105** (2014) 131602.
- [4] M. O. M. Edwards *et al.*: *Nucl. Instr. and Meth. A* **785** (2015) 191-196.
- [5] Y. Takagi, T. Yokoyama and Y. Iwasawa: *SPRING-8 Research Frontiers* (2014) 64-65.
- [6] R. Toyoshima *et al.*: *J. Phys. Chem. C* **119** (2015) 3033-3039.
- [7] M. Yoshida *et al.*: *J. Phys. Chem. C* **117** (2013) 14000-14006.
- [8] I. Nakai *et al.*: *J. Phys. Chem. C* **113** (2009) 13257-13265.

横山 和司 YOKOYAMA Kazushi

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1-490-2
兵庫県放射光ナノテク研究所
TEL : 0791-58-1965
e-mail : yokoyama@hyogo-bl.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1-490-2
兵庫県放射光ナノテク研究所
TEL : 0791-58-1965
e-mail : matsui@hyogo-bl.jp

住田 弘祐 SUMIDA Hirosuke

マツダ株式会社 技術研究所
〒730-8670 広島県安芸郡府中町新地3-1
TEL : 082-565-1336
e-mail : sumida.h@mazda.co.jp

梶野 雄太 KAJINO Yuta

兵庫県立大学 高度産業科学技術研究所
〒679-1205 兵庫県赤穂郡上郡町光都3-1-2
TEL : 0791-58-0249
e-mail : ykajino@lasti.u-hyogo.ac.jp

渡邊 健夫 WATANABE Takeo

兵庫県立大学 高度産業科学技術研究所
〒679-1205 兵庫県赤穂郡上郡町光都3-1-2
TEL : 0791-58-0249
e-mail : takeo@lasti.u-hyogo.ac.jp

野瀬 惣市 NOSE Souichi

スプリングエイトサービス株式会社 技術部
〒679-5165 兵庫県たつの市新宮町光都1-20-5
TEL : 0791-58-1839
e-mail : nose@hyogo-bl.jp

首藤 大器 SUDOU Motoki

スプリングエイトサービス株式会社 技術部
〒679-5165 兵庫県たつの市新宮町光都1-20-5
TEL : 0791-58-1839
e-mail : sudou@hyogo-bl.jp

竹内 和基 TAKEUCHI Kazuki

スプリングエイトサービス株式会社 技術部
〒679-5165 兵庫県たつの市新宮町光都1-20-5
TEL : 0791-58-1839
e-mail : takeuchi@hyogo-bl.jp

籠島 靖 KAGOSHIMA Yasushi

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 : 0791-58-0230
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1-490-2
兵庫県放射光ナノテク研究所
TEL : 0791-58-1965
e-mail : kagosima@sci.u-hyogo.ac.jp

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
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1-490-2
兵庫県放射光ナノテク研究所
TEL : 0791-58-1965
e-mail : tsusaka@sci.u-hyogo.ac.jp

高山 裕貴 TAKAYAMA Yuki

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 : 0791-58-0233
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1-490-2
兵庫県放射光ナノテク研究所
TEL : 0791-58-1965
e-mail : takayama@sci.u-hyogo.ac.jp

61st Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials 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 鈴木 基寛

1. 会議概要

今回で61回目を数える磁性分野の会議、Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (以下、MMM 会議) が2016年10月31日から11月4日にかけて、米国ルイジアナ州ニューオーリンズ市で開催された。MMM 会議は、AIP Publishing と IEEE Magnetics Society が共催し、米国物理学会の援助を受け、アメリカの主要都市で毎年開催されている。米国内および海外の磁性研究者に門戸を開いており、1,700件もの講演数を数える。国際会議と銘打ってはいないものの、実質的には IEEE International Magnetics Conference と並ぶ最大級の磁性国際会議という位置付けである。実際、アメリカ国内だけでなく、ヨーロッパ、アジアから多くの出席者があり、とくに日本、韓国、中国(米国在住の中国系研究者も含む)からの参加者が目についた。国内の磁性専門の会議といえば日本磁気学会だが、MMM 会議では、日本磁気学会の学術講演会に比べて基礎的な研究分野の比重が大きいことが特色である。日本物理学会の領域3磁性セッションの一部、応用物理学会の磁性セッション、日本磁気学会を融合したような会議となっている。たいへん広い分野をカバーしているため、口頭発表では連日多数の並行セッションが進行していく。会場であるホテルマリオットニューオーリンズの全9室の会議室で朝8時半から夕方17時まで並行セッションが行われた。このように MMM 会議では広範囲の国際的な研究報告が毎年行われるとあって、最先端の情報収集の場として定着している感がある。

2. 注目の講演から

上で書いたように、膨大な並行セッションの全てを網羅することはできないが、以下では放射光を利用した研究発表のうち、印象に残ったものを紹介する。なお、SPring-8を用いた研究成果には(※)印

を付けた。

“Anisotropy effects in thin films”のセッションでは、Y. Idzerda 氏(モンタナ州立大)による垂直磁化膜の X 線磁気円二色性(XMCD)解析法の講演があった。強い垂直磁気異方性を示す薄膜試料について、磁化困難軸方向で飽和磁化に満たない条件でも XMCD による元素選択的な磁化測定を正しく行うための方法が検討、提案された。Idzerda 氏は XMCD の黎明期から磁性薄膜の XMCD 研究を行っている。そのようなベテラン研究者が、ある意味地味な技術的課題に意義を見出し取り組んでいることに敬服した。

“Ferromagnetic resonance”のセッションでは、菊池氏(東北大)から Co/Pt 多層膜ドットの強磁性共鳴(FMR)励起状態の時分割 XMCD 観測の報告があった。これまでの XMCD による FMR の研究では振幅角の小さい定常励起状態の観測が主であったが、菊池氏らは傾き角が 60° もある大振幅角の歳差運動の非線形的な励起開始の様子を時間領域で直接観測し、外部磁場による励起時定数の変化を報告して注目を集めていた。将来のマイクロ波アシスト励起磁化反転技術にもつながるため応用面でも期待される(※)。

“Magnetic instrumentation and characterization”のセッションでは、G. Chen 氏(LBNL)による招待講演“Spin chirality induced X-ray magnetic circular dichroism and new type of chiral spin textures in in-plane magnet”が非常に興味深かった。円偏光磁気回折を用いて、マクロには磁化を持たないスピントクスチャのカイラリティを識別できるという新しい手法が紹介された。この手法を異なるカイラリティ(磁気モーメントの反転方向)を持つブロッホ磁壁に適用できることを示した。今後、実験的、理論的な検証が必要だが、スキルミオンやDMIによるスピントクスチャの有力な解析手法になる可能性

がある。

“Novel magnetic order in thin films”のセッションでは、C. Klewe氏 (ALS, LBNL) による、X線共鳴磁気反射率 (XRMR) 測定による多層膜構造の深さ方向磁化分布解析の講演が目をつけた。彼らのグループは近年 XRMR による非磁性/強磁性界面での誘起磁化分布の検出を精力的に行っている。この講演では Pt と酸化物磁性体界面での誘起磁化分布を $0.01 \mu\text{B}$ という高い精度で決定していた。磁気反射率データをモデルフィッティング解析する際に、実際の試料での界面構造やラフネスを採り入れるため、磁気的な dead layer をモデル構造に採り入れるなどの工夫がされていた。

上記の Pt/酸化物磁性体はスピントロニクスやスピン流の制御で近年注目されている材料である。吉川氏 (東北大) らのポスター発表では、Pt/ $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ 界面における強磁場、低温下での Pt の常磁性磁気モーメントの XMCD 測定が報告された。5 T、5 K の条件下では通常のパウリ常磁性の数倍もの磁気モーメントが $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ との界面の Pt に誘起されることが示され、多くの聴衆の興味を惹いた (図1下、※)。

最近注目を集める電圧磁気異方性制御に関しては、通常のセッションに加えて招待講演によるシンポジウムが開催され、大変盛況であった。本シンポジウムにおいて、三輪氏 (阪大) は電圧印加状態での XMCD 解析の最近の結果を報告した。FePt/MgO 界面での電圧磁気異方性効果に関する Pt の磁気モーメント変化を明確に観測した。界面での電気四重極モーメントによって磁気異方性エネルギーの変化が生じることを、第一原理計算の結果と合わせて示した。これまで注目されなかった磁気双極子モーメントによる磁気異方性エネルギーの変化が電圧誘起磁気異方性変化に重要な寄与をしていることを指摘した (※)。

“Low-dimensional Systems”のセッションでは A. Rogalev 氏 (ESRF) が、ID12の17テスラ XMCD 装置による Ir 分子錯体の強磁場、低温下での XMCD および磁化曲線の報告を行った。2 K、17 T の環境での Ir 分子磁石の軌道磁気モーメントを評価しており、スピン軌道相互作用の大きい 5d 系分子磁石の磁気状態を元素選択的に評価できる手法として今後の展開が期待される。

“All optical switching”についてのシンポジウムも開催され、光誘起磁化反転や関連する超高速現象

について、広く情報収集を行う良い機会となった。この分野の第一人者である A. Kimel 氏 (Radboud 大学) の講演では、彼らが最初に観測した All-optical 磁化反転現象の基礎から、最新の結果までを網羅しており、非常に内容の濃い講演であった。なかでもガーネット試料における磁区構造をレーザー光の偏光によって制御する研究、大きな垂直磁気異方性と保磁力を有する Co/Pt 系試料でも光誘起磁化反転が行えることが最近の話題として紹介された。つづいて、高橋氏 (NIMS) から、同じく垂直磁気異方性を示す FePt グラニューラ膜に対する光誘起磁化反転の結果が示された。磁気記録媒体の実用材料として有望な FePt グラニューラ膜に対してもレーザー光によって磁化反転が行えることが示され、反転条件などについて豊富なデータに基づいた詳細な議論が展開された。

シンポジウム以外にも、光誘起磁化反転に関し



図1 (上) ポスターセッション会場。ジャズの本来らしく、会議のロゴもスピンを音符に見立てて洒落ている。(下) ポスターセッションでも活発な議論が行われていた。

て、時分割 XMCD による観測や時分割ホログラフィー磁気イメージングによる観測の報告が数件あった。とくに軟 X 線領域では、顕微 XMCD や時分割 XMCD は日常的に利用されるツールとなっていることをあらためて認識した。この背景には、Advanced Light Source や Swiss Light Source が活発に推進している FZP による結像型や走査型の軟 X 線顕微鏡、S. Eisebitt 氏（ベルリン工科大）らが主導しているフーリエ変換ホログラフィー法の発展によるところが大きい。ただし、これらの手法は基本的には透過法での測定となるため、観測可能な試料はメンブレン基板上に成膜された薄膜に限られる。彼らはその制限の中で有力な成果を排出しているわけだが、今後この分野に日本の放射光施設やユーザーが参入するならば、単に後追いではなく独自のアイデアを注入することが不可欠となろう。たとえば、透過法によらない観察法を開発し、バルク試料や厚い基板上に作製した実デバイスの観察を目標とするのが一つの方向性だと考える。

3. おわりに

本会議ではスピントロニクス分野での中国系研究者の活躍が強く印象に残った。ポスターセッションでは、連日ベストポスター賞が発表されるが、ここでも中国や韓国を始めとするアジア系研究者の受賞が目立った。中国国内での研究開発の進展が著しいのに加えて、米国で学位を取得しそのまま米国の大学などでポストを得た中国系研究者が、母国からの留学生を中心メンバーとして研究室を運営している例も多いようである。このような正のスパイラルサイクルが、中国系研究者台頭の原動力なのかもしれない。実際、中国の若い学生たちの発表は自信に満ちている。彼らの多くは流暢な英語をとて早くで操り、複雑な研究結果を手際良く紹介してみせる。発表時間を超過しても決して動じない…。放射光分野ではスピントロニクス分野ほど中国系の台頭はまだ実感としてないが、今後脅威となることが十分予想される。台湾では Taiwan Photon Source (TPS) が建設され、アジア随一の高輝度・低エミッタンスリングが稼働し始めている^[1]。中国でも電子ビームエネルギー 5 GeV の Beijing Advanced Photon Source (BAPS) の計画が採択され、早ければ2022年の運転開始を目指している^[2,3]。今後もアジア各国の放射光施設の動向を注視しつつ、国内

の放射光利用や光源建設を進めていくことが必須となるだろう。

ところで、会議が行われたニューオリンズはジャズ発祥の地として知られている。会場のホテルから5分とかからないフレンチクォーター地区でも、ジャズの路上演奏を耳にすることができた。夜になれば多くの店で本場の生演奏を楽しむことができ、トランペットやサクソといった管楽器が活躍するディキシランドジャズの魅力を堪能した。

次回の MMM 会議は2017年11月、ペンシルベニア州ピッツバーグ市で開催される。磁性研究に携わる方にとっては、いち早く最新情報が得られる機会として、参加を検討されてはいかがだろうか。

参考文献

- [1] <http://www.nsrcc.org.tw/>
- [2] http://english.ihep.cas.cn/prs/ns/201610/t20161019_168824.html
- [3] <http://www.aps.anl.gov/Upgrade/Workshops/2014/uploads/conf/Presentations/Breakout-1-Accelerator/BAPSQingQin.pdf>

鈴木 基寛 *SUZUKI Motohiro*

(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 : m-suzuki@spring8.or.jp

公益財団法人高輝度光科学研究センター (JASRI) への 第2回科学技術助言委員会の提言内容

(概要)

財団 JASRI の役割は、SPring-8 と SACLA の共用施設を理研とともに効率的に運転・高性能化し、登録機関として共用ビームライン利用者の公正な選定と効果的な支援を行い、利用研究成果を最大化することにある。とくに、利用者の方々が学術的にも産業的にもインパクトのある研究成果を創出されるよう効果的な支援と技術開発を実行することが JASRI の重要な使命である。

利用支援業務（研究開発、技術支援、情報支援等）の最適化のため、その業務の実施状況、技術開発の現状と将来計画を報告して有識者の助言を受けることを目的に、2015年、JASRI に科学技術助言委員会（委員長：雨宮慶幸東京大学教授）が設置された。2015年9月の第1回委員会に引き続き、有識者17人により構成される第2回委員会が、2016年8月23日から24日の2日間にわたり SPring-8 キャンパスにて開催された。

委員会では、前回と同様、土肥義治理事長から登録機関 JASRI の使命と現状の説明があり、加速器部門（後藤俊治部門長）、光源・光学系部門（後藤俊治部門長）、制御・情報部門（松下智裕部門長）の各部門長から施設の現状について報告があった。第2回となる今回は、田中良太郎常務理事が研究系組織の取り組みとして、ついで、利用者を支援する利用研究促進部門（櫻井吉晴部門長）、産業利用推進室（廣沢一郎室長）、タンパク質結晶解析推進室（八木直人室長）、XFEL 利用研究推進室（矢橋牧名室長）、そして利用推進部（木下豊彦部長）から、第1回委員会からの助言への対応の他、各部門・室の活動の方向性、課題等について発表があった。

このたび、雨宮委員長から理事長あてに助言を頂いたので、その提言内容を本誌に公表して、利用者各位に報告する次第である。

(科学技術助言委員会委員)

(委員長)

雨宮 慶幸 東京大学 大学院新領域創成科学研究科 教授

(副委員長)

下村 理 高エネルギー加速器研究機構 名誉教授

石川 哲也 理化学研究所 放射光科学総合研究センター センター長

岩田 忠久 東京大学 大学院農学生命科学研究科 教授

上田 潔 東北大学 多元物質科学研究所 教授

佐々木 園 京都工芸繊維大学 繊維学系ナノ材料物性研究室 教授

佐野 雄二 内閣府 革新的研究開発推進プログラム (ImPACT) プログラム・マネージャー

高尾 正敏 大阪大学 経営企画オフィス 特任教授

高原 淳 九州大学 先導物質化学研究所 所長・教授

月原 冨武 兵庫県立大学 特任教授・大阪大学 名誉教授

中川 敦史 大阪大学 蛋白質研究所 教授

沼子 千弥 千葉大学 大学院理学研究科 准教授

濱 広幸 東北大学 電子光理学研究センター センター長・教授

平井 康晴 佐賀県地域産業支援センター 九州シンクロトロン光研究センター 所長

古川 和朗 高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設 加速器第5研究系 研究主幹・教授

古屋 和彦 富士フイルム(株) 参与

松原英一郎 京都大学 大学院工学研究科 教授

第 2 回 JASRI への科学技術に関する助言

第 2 回科学技術助言委員会
2016 年 11 月

1. はじめに

昨年度に引き続き、第 2 回科学技術助言委員会を 2016 年 8 月 23 日、24 日の 2 日間にわたって開催した。

本委員会の目的は、稼働後まもなく 20 年を迎える SPring-8 における課題選定と利用者支援（技術支援と研究開発）の役割を担う JASRI が、SPring-8 の利用研究（基礎・応用）成果の最大化のために、引き続き、効率的にその役割を果たすための助言を行うことにある。

全般的に高いレベルで利用者支援や研究開発が進められていることは、委員全員が一致して認めることであるが、さらに前進するために必要と思われる事項を以下に纏める。

本委員会では、第 1 回科学技術助言委員会に引き続き、相互に密接に関連する以下の 3 つの課題に関心を払いつつ、助言の取り纏めを行った。

- ・利用者支援における二つの側面である技術支援と研究開発の両立。
- ・新規利用者開拓と高度な実験を行う利用者への積極的な対応の両立。
- ・若手研究者・技術者にとって魅力ある JASRI の在り方。

2. JASRI の活動報告に関する助言

「第 1 回科学助言委員会の助言と対応状況」に記述されているように、JASRI の経営・運営に関する前回の助言に対するきめの細かい対応とその方針が示された。新たなアイデアや価値を生み出す源泉は人であり、組織に属する 1 人 1 人が高いモチベーションを持てる経営・運営が最も肝要な点であると考え。その意味で、経営・運営に関して、スタッフが高いモチベーションを持てることに注力した取り組み姿勢は、成果最大に向けた最も効果的な方針であり、高く評価できる。具体的には、(1) JASRI 組織・体制上の改善、(2) 研究系への刺激策、

(3) 研究系を取り巻く環境整備、という 3 つのベクトルの方針が示された。いずれのベクトルの方向及びその内容は妥当であり、今後、その施策の効果が具体的にどのように現れるかを大いに期待したい。その施策の効果を適宜評価する仕組みを導入して、ダイナミックに運営することを期待する。例えば、蛸壺化しない仕組み作りとしての組織の再編等は重要であるが、それがどのように功を奏したかの評価が今後必要であろう。その施策の趣旨を JASRI 全体で共有することが重要であり、同時に、現場が抱える課題・問題点を理事、部長、部門長等の JASRI 執行部が的確に把握することが重要である。今回の委員会では、運営・経営においてどのような課題・問題点を抱えているかに関して、JASRI 側からは特に情報発信は無かったが、これらの点を本委員会において共有する視点があっても良いのではと思われる。

「技術支援」と「研究開発」の二兎を追う努力は重要であり、全体として、技術支援と研究開発の比率を 8:2 に設定するという方針は概ね妥当であると考え。但し、個人としての比率は、各自の特性に応じて異なった設定があってもよいと考える。技術支援と研究開発の両方の仕事が増える中で、若手研究者のインセンティブを何処に求めるかは、優秀な研究者を確保する意味で重要である。また、人材の流動化を促進するために、研究者個人の成果の見える化、評価軸の設定が重要である。

研究成果とその評価に関しては、被引用論文トップ 1% の割合が SPring-8 では 2.51%、SACLA では 6.96% と高く、このことは高く評価できる。この指標は研究成果の評価の重要な指標であるが、JASRI の役割に即した独自の評価軸を導入する事も必要であると考え。今後、専用 BL に対する評価軸に対する検討も必要である。さらに、JASRI 単独ではなく、SPring-8 全体（JASRI と理研）としての評価システムが必要である。

予算・競争的資金に関しては、現在は共用法に守られているものの、ユーザーのニーズを的確に把握・先取りした上で理研と密な連携を行いながら、行政に働きかけて放射光科学に対する予算施策を引き出す努力が必要であろう。

外部資金を獲得するためのトレーニングとしての理事長ファンドは高く評価できる。また、大型競争資金獲得の初期段階から JASRI の研究者がコミットするような仕組みを期待したい。小さな研究費でも自らが代表になり競争的資金を獲得する姿勢を促すこと、およびその指導も必要であろう。また、採択された場合のインセンティブの確保も必要である。

人材育成に関しては、技術支援と研究開発に更に共同研究を加えた、技術支援、共同研究、研究開発という3つのバランスをどのようにするかという視点も重要である。また、一般論としての人材育成ではなく、外に出るパス、組織の支柱になるパス、中間管理層の育成、現場研究者の育成等の異なるキャリアパスのロールモデルを作ることが必要ではないかと考える。若手人材の流動性を確保するためにも、キャリアパスの確保に向けた独創的な技術開発、研究の推進支援を強化して欲しい。また、大学との連携（教育経験の実績を積む）、科研費獲得の実績を積むことが必要である。理事長ファンド国内研修に関しては、一般的な人材研修よりも、共同研究や大学における教育指導受託、非常勤講師等の具体的な責任ある業務を通じた人材育成がより効果的であると考えられる。また、理事長ファンド海外研修に関しては、具体的な共同研究テーマを伴った研修にすると、大きな人材育成効果が得られるであろう。必要な海外研修期間に関しては、研究テーマによって異なるので、自由度があつてよいであろう。例えば、ウェットな実験の場合は、短期間の設定が有効である。成果最大に向けた取り組み姿勢に関しては、研究員だけでなく事務員も含めて共有することが重要である。今後、スタッフの高齢化に対する対応、女性研究員の雇用に対する対応を検討する必要があると考える。特に、女性研究者に対しては、過酷な研究環境にならないようなワーキングシェアの導入も必要であろう。

第1回科学技術助言委員会の報告書でも述べたように、SPring-8とSACLAを同じサイトに有し、文

字通り、世界最先端の性能を有する研究施設の課題選定と利用者支援に責任をもつ登録機関としてのJASRIの果たすべき使命は極めて大きい。その使命の自覚を組織の1人1人が共有できるような経営・運営が重要である。また、若手研究者・技術者にとって魅力ある職場作りが重要である。

放射光科学は、学際的かつ国際的な研究分野であり、そのような特性を有する研究分野の経営・運営は高いバランス感覚と広い視野が必要とされる。関連する諸科学分野の動向を的確に捉える視野の広さと海外との競争・協調をバランス良く行う視点が求められる。

日々の支援業務においては、特に、SPring-8のアップグレードを視野に入れた研究開発に関して、理研研究者とJASRI研究者の緊密な情報交換と意思の疎通が重要である。

3. 利用推進①に関する助言

3-1 利用研究促進部門

前回の本委員会の助言に対して適切な対応が実施されている。今後はその施策の効果を適宜評価する視点を持つことが重要である。例えば、GL会議・部門ミーティングがどのような効果に繋がったかを部門として把握し、それに基づきダイナミックに進めて行くことを期待したい。

2016年度の共用BLにおける高性能化・高度化の方向性とその内容は妥当であり、運営費・交付金による高性能化と共に、競争的資金・科研費による高性能化への取り組みは、高く評価できる。高度化に関しては、SPRUC（ユーザー）からの要望を的確に把握して進める必要がある。また、SPring-8 IIに向けた取り組みをより明確化して、高度化に取り組むことが必要である。

オープンサイエンス推進については、オープンデータの戦略的な活用、及びそのメリットとデメリットに関して、ESRF以外も含めて、世界の動向も見ながら議論を始めることが重要である。メタデータ形式の統一、大容量データ保存の対する施策は、オープンデータの前段階における検討事項として重要である。

オープンサイエンス≠オープンデータ≠オープンアクセスだと考えるが、これらに関するSPring-8での運用については、SPRUCとの連携を取りなが

ら、ユーザーや専門家（著作権等の問題）の意見を十分に踏まえて検討していくべき事柄である。

メゾ領域の材料・デバイス科学を加速する共用BLにおける高性能機器整備計画は、散乱・分光・イメージングの統合による時間・空間階層構造解明へのアプローチであり、その方向性は妥当であり、かつ重要である。このアプローチを行う上で、具体的な共通テーマを設定することがより効率的であり、インパクトがある成果に繋がると考える。X線イメージング技術開発の方向性を「構造材料の性能向上」というテーマにフォーカスした取り組み（上杉）は、高く評価できる。産業界から見たニーズも視野に入れて、インパクトのある成果に繋げて頂きたい。イメージングの産業利用の開拓は、潜在的なニーズが高いと考えるので、是非注力して頂きたい。解析ソフト・ハード開発は、インパクトのある具体的な対象物の可視化をターゲットにして取り組むと効率的であると考えます。

「メゾ領域の顕微分光解析の開発と利用促進」（中村）および「構造解析のマルチスケール化への取り組み」（今井）は共に、地道に重要な開発を進めていて、高く評価できる。インパクトにある実験事例を具体的に示し、その成果の積極的な情報発信を行えば、潜在的なユーザー層は極めて広いと考える。

今回プレゼンのあった本アプローチが利用研究促進部門全体の中でどのように位置づけられるか、また、利用研究促進部門全体としての取り組みに関しては、時間の制約もあり、十分に述べられていなかったと感じる。次回の委員会では、これらの点に関してもお聞きしたい。

検出器に関するアップグレードに対するニーズが高いので、理研の検出器開発グループとより密接な連携を取りながら、開発すべき検出器、購入すべき検出器をSPring-8全体として整理して、必要な検出器の性能に対する正しい情報の共有を行うことが必要である。SPRUCの協力を得てユーザーからの要望の取り纏めを適宜行い、SPring-8全体として計画的な検出器の開発・購入プログラムの作成を行う事を期待したい。そして、国プロや行政への働きかけ等も行い、予算の確保に努めて頂きたい。

技術支援チームに関しては、体制が整備され有効に機能していて、高く評価できる。今後、更に強化されることを期待する。技術支援チームのキャリアア

スに関して、今後検討する必要が出てくるであろう。

3-2 産業利用

前回の助言委員会の助言に対して、食品加工分野の利用開拓、自動化の開発、アウトソーシング、などにおいて適切な対応が実施されている。放射光産業利用発展に向けた「All Japan体制」の構築を目指した、SPring-8の特長を活かした利用技術開発の方向は妥当であり、高く評価できる。ただし、本当の意味でSPring-8の特長を活かした利用技術開発の方向は何であるかは吟味が必要である。HAXPES測定の実自動化に関しては、難度が高いが是非とも実現していただきたい。また in-situ 測定への期待は高く、今後益々重要である。

試料環境制御の提案に関わる担当者の姿勢は高く評価できる。より効果的な対象を見つけることが重要であり、その点にも注力して頂きたい。

また、産業利用を行った企業を通しての普及啓発活動を積極的に進めることが、今後の産業利用の推進にとって効果があると考えます。

アウトソーシングに関しては、研究者による技術支援の時間緩和のために、その可能性を提案したことは高く評価できる。図らずも、分析会社などによる成果専有課題での利用が、産業利用で約1/3を占めている現状を踏まえ、既存技術の利用において分析会社との共同運用を模索し、その結果得られる資金を新たな解析技術の開発に充てることで、持続的な解析ニーズの発掘を行うという、JASRIと分析会社の両者にとって、win-winとなるような関係を築くことができることが望ましいと考える。また、SPring-8の品質保証の観点から、feedbackのない分析会社へのアウトソーシングは、リスクを含むことも考慮する必要がある。

4. 利用促進②に関する助言

4-1 タンパク質結晶解析推進室

タンパクのBLを横断的に運用するためのL1分科会独自の課題選定システムが功を奏して、IDビームラインの利用率は極めて高く、BMビームラインの充足率も改善しており、ユーザーの満足度も高いように見受けられる。

タンパク質結晶解析の測定技術開発については、進行中の3件の高度化テーマ（試料交換ロボットの

高性能化、調温調湿下試料測定環境の開発、偏向電磁石 BL の高輝度・高集光化)、SSX 測定環境の構築等、高度化への積極的など取り組みは評価できる。特に、短波長 X 線利用による金属 (鉄) 電子状態解析の成功は、従来の電子密度解析からケミストリー展開ができるようになったという点で高く評価できる。

これからの課題は、新規ユーザーの取り込みへの工夫である。一つの方法として、S-SAD の威力をアピールし、その利用を広めることが挙げられる。また、結晶化を含めた支援体制が出来れば、新規利用者増が期待できるであろう。これらについて、学会でのブース展示などを含めた普及啓発活動が考えられる。

また、JASRI スタッフが中心となって共同研究を積極的に行うことが新たな成果創出の観点から重要であり、さらに、スタッフのキャリアパスを考える上でも重要である。

4-2 XFEL 利用研究推進室

目的意識を明確に持って開発を進めており、BL の数の増強、SCSS の移設による軟 XFEL ビームラインの立ち上げなど、世界トップの FEL 施設として順調に推移しており、またルーチン化の努力も怠りなく対応してきている。産業利用への取り組みも評価できる。

XFEL が世界的な競争の中で SACLA は緊張感を持って研究に取り組んでおり、勝ち抜くためにハイリスク・ハイリターンに取り組むことは当然であろう。SACLA の性能を知り尽くしたスタッフが、新しい分野の研究者を開拓することがこれまで以上に望まれる。

一方、これまでに得られた優れた成果は事例集にまとめられているが、その成果を積極的に普及・宣伝することにより、ともすれば XFEL に距離を置いているユーザーを取り込むことが、より幅広い分野での成果を生み出すために肝要である。そのために SPRUC との連携も重要である。

SACLA で培った時分割測定技術や検出器開発などの要素技術開発は、その結果のみならずそのプロセスが Spring-8 II にマッチした測定系を構築する上で重要であり、どのように繋げていくかについて充分検討して頂きたい。

4-3 利用推進部

次期 UI-System については、どのようにあるべきかについて利用者の SPRUC と利用支援をする利用研究促進部門、産業利用推進室などとの十分な検討に基づいて設計されることが肝要である。10-20 年スパンで利用されるものであるから、利用形態の変更に対応できる柔軟性が求められる。また、蓄積されるデータが情報支援や評価のデータとして円滑に利用できるようにすることが求められ、また、現システムで扱われているデータの継続利用も可能にしておく必要がある。

Spring-8 の成果創出について Top10 をキーワードとして整理して Spring-8 の立ち位置を見せるようにしたことは評価できる。一方で、Spring-8 は基礎研究から産業利用に至るまでの幅広い領域でのわが国最大の共同利用機関であり、その評価基準は一般的な学術研究機関とは異なる独自のものである。それを見せるためにはこれまでの利用実績を十分に解析する必要があるが、利用推進部のマンパワーだけでは困難であり、データ解析に実績のある外部研究機関との共同研究が必須である。

普及啓発活動についての努力は多とするが、より効率的に行うために SPRUC との有機的な連携が求められる。

5. まとめ

第 1 回科学技術助言委員会と同様に、今回の委員会の役割は、JASRI のこれまでのアクティビティを評価することではなく、今後の発展に資するための助言を行うことにあると考えて、本取り纏めを行った。

非常に広範に亘る放射光科学の中で、適切な選択と集中を行い、登録機関 JASRI、施設者、利用者が一体となって、他施設の追従を許さない体制を構築することを目指して頂きたい。

Spring-8 と SACLA の技術開発要素には共通する部分と各々異なる部分がある。共通する部分に関しては、同じサイトにある利点を生かして情報交換の場を適宜設けて、相乗効果が期待できる効率的な取り組みが必要である。

2021 年頃を目標に理研が Spring-8 をアップグレードする計画を持っており、JASRI の研究スタッフがその議論に積極的に関わるポテンシャルをもつことが重要である。研究スタッフが、Spring-8 のアッ

ブグレードに積極的に関わる強い意志を持って、日々の研究業務に取り組んで頂きたい。今後、低エミッタンス化された光源、それに伴う空間コヒーレンス度の高いビームの利用研究を強く意識して、研究開発に取り組むことが重要である。

将来計画を実現させることは、長いタームにおける人材育成にとって最も強力かつ効果的な機会であるので、将来計画を後押しする日々の業務の遂行を期待するものである。

本委員会の本助言が登録機関としての JASRI の役割を果たす上で、また、SPring-8の利用研究成果の最大化を目指す上で参考になることを願うものである。

2015A 期 採択長期利用課題の中間評価について

公益財団法人高輝度光科学研究センター
利用推進部

第58回 SPring-8利用研究課題審査委員会長期利用分科会（2016年10月）において、2015A 期に採択された7件の長期利用課題の中間評価が行われました。

長期利用課題の中間評価は、実験開始から1年半が経過した課題の実験責任者が成果報告を行い、長期利用分科会が、対象課題の3年目の実験を実施するかどうかの判断を行うものです。以下に対象課題の評価結果および評価コメントを示します。

－ 課題1 －

課題名	普遍元素を用いる高機能触媒の創製：先端放射光技術の包括的利用に立脚した触媒元素戦略の実現
実験責任者(所属)	高谷 光 (京都大学)
採択時の課題番号	2015A0114 (BL02B1)、 2015A0121 (BL14B2)、 2015A0122 (BL27SU)、 2015A0123 (BL40XU)
利用ビームライン	BL02B1、BL14B2、BL27SU、BL40XU
評価結果	3年目を実施する

[評価コメント]

当該課題は、Pt、Pdなどの貴金属触媒を利用する現行の化学合成プロセスをFe、Mn、Co、Ni、Cu等、比較的資源量が豊富な元素で代替する新しい均一系触媒システム創製を目標に、NMRでの構造決定が難しいFe等の3d金属元素触媒の分子構造や電子状態を、XAFSとX線回折を併用して明らかにすることを目的とした元素戦略の視点からも意義深い課題である。

これまでに実施された課題実験を通じて軟X線用と硬X線用のフローセルの独自開発に成功し、BL14B2での硬X線溶液XAFS、BL27SUでの軟X線溶液XAFSの測定を可能とし、Fe触媒クロスカップリングをはじめとする様々な均一系触媒反応の触媒中間体の同定と構造決定に成功している。特に、

Feクロスカップリング反応において反応活性種の精密な構造や反応機構を明らかにしたことは、本長期利用課題の特筆すべき成果のひとつである。また、単結晶X線回折により得られた触媒中間体の構造とXAFSより得られた構造の比較から立体構造決定におけるXAFSの有効性を証明したことは、測定手法が異なる複数のビームラインを併用できる長期利用課題の特徴を有効に活用した成果である。

これらの成果は、金属元素の価数や立体構造に関する知見が得られるXAFSの触媒研究における有効性を見事に示すもので、民間企業3社を含む10件以上の共同研究に発展していることを高く評価したい。XAFSスペクトルは解析の任意性が高いことに留意しつつ、触媒反応過程解明に向けた実験技術開発により多くの成果が創出されることを期待している。

[成果リスト]

(査読付き論文)

[1] SPring-8 publication ID = 31106

T. Katayama *et al.*: “Two-Step Synthesis of Boron-Fused Double Helicenes” *Journal of the American Chemical Society* **138** (2016) 5210-5213.

[2] SPring-8 publication ID = 31335

Y. Bando *et al.*: “Ion-Pairing Assemblies Based on Pentacyano-Substituted Cyclopentadienide as a π -Electronic Anion” *Chemistry - A European Journal* **22** (2016) 7843-7850.

[3] SPring-8 publication ID = 31815

W. Naito *et al.*: “Doubly *N*-Methylated Porphyrinoids” *Organic Letters* **18** (2016) 3006-3009.

[4] SPring-8 publication ID = 32098

K. Isozaki *et al.*: “Synthesis and Applications of (ONO Pincer)Ruthenium-Complex-Bound Norvalines” *Chemistry - An Asian Journal* **11** (2016) 1076-1091.

- [5] SPring-8 publication ID = 32099
R. Yoshida *et al.*: “ONO-Pincer Ruthenium Complex-Bound Norvaline for Efficient Catalytic Oxidation of Methoxybenzenes with Hydrogen Peroxide” *Organic & Biomolecular Chemistry* **14** (2016) 7468-7479.
- [6] SPring-8 publication ID = 32100
K. Isozaki *et al.*: “Synthesis of Gold Nanoparticles Bearing Supramolecular Interface for Highly Efficient Catalysts” *62nd Symposium on Organometallic Chemistry, Japan* (2015) 119.
- [7] SPring-8 publication ID = 32103
R. Agata *et al.*: “Iron Fluoride/N-Heterocyclic Carbene Catalyzed Cross Coupling-between Deactivated Aryl Chlorides and Alkyl Grignard Reagents with or without β -Hydrogens” *Synthesis* **47** (2015) 1733-1740.
- [8] SPring-8 publication ID = 32104
S. Nakajima *et al.*: “Synthesis, Structure and Reactivity of Aryliron Intermediates in Iron-Catalyzed Cross-Coupling Reaction” *62nd Symposium on Organometallic Chemistry, Japan* (2015) 160.
- [9] SPring-8 publication ID = 32105
S. Saito *et al.*: “Iron-Catalyzed Enantioselective Carbometalation of Azabicyclic Alkenes with Organozinc Reagents” *62nd Symposium on Organometallic Chemistry, Japan* (2015) 164.
- [10] SPring-8 publication ID = 32106
Y. Aoki *et al.*: “Iron-Catalyzed C-H Amination of Aniline Derivatives” *63rd Symposium on Organometallic Chemistry, Japan* (2017) 147.
- [11] SPring-8 publication ID = 32108
H. Takaya *et al.*: “Solution-Phase Structure Analysis of Molecular Catalysts Based on X-ray Absorption Spectroscopy” *Chemistry and Chemical Industry* **69** (2016) 391-393.
- [12] SPring-8 publication ID = 32114
Y. Haketa *et al.*: “Dipyrrolylpyrimidines as Anion-Responsive π -electronic Systems” *Organic & Biomolecular Chemistry* **14** (2016) 8035-8038.

－ 課題2 －

課題名	革新的機能性ゼオライトの設計を目的とした生成メカニズムの時分割原子・ナノスケール解析
実験責任者(所属)	脇原 徹 (東京大学)
採択時の課題番号	2015A0115
利用ビームライン	BL04B2
評価結果	3年目を実施する

[評価コメント]

本長期利用課題は、分子ふるい、イオン交換材料、吸着材料、バイオディーゼル燃料や排気ガス浄化触媒として大量に生産され、利用が増大しているゼオライトに新機能、高活性、高耐久性を付与する基盤技術創製を目指したゼオライトの生成過程と機構の解明を目的としている。

本課題の採択にあたっては、時分割測定に伴う膨大な実験データからナノスケールでの構造情報の効率的な解析の必要性が指摘されていたが、これまでの2年間で分子動力学法と Reverse Monte Carlo 法を併用した信頼性の高い構造解析法を開発した。この解析手法を用いて、非晶質と結晶が混在するゼオライト生成過程を構成原子の二体分布関数の変化として抽出し、結晶だけでなく非晶質の構造も定量的に取り扱うことに成功している。また、この手法を機能性発現のために広範に利用されている金属包含ゼオライトの構造解析に適用し、Hf を包含したゼオライトについてゼオライト骨格と添加金属の二体分布関数を差し引くことにより、ゼオライトにヘテロ原子として導入した Hf は骨格外では酸化物クラスターとして存在するが、骨格中では金属として存在することを明らかにした。高機能性触媒の生成機構に関しては、プラチナ触媒代替材料として注目されているが、酸化被膜の生成によって機能を失いやすく、構造決定も困難であった炭化モリブデン (Mo_2C) について、 Mo_2C をゼオライト中に導入することによって得られる高い反応選択性と耐久性が、 Mo_2C クラスターがゼオライト細孔中に充填された構造によるものであることを示した。特に、 Mo_2C やゼオライト単体には無い特異な反応選択性は、両者が近接していることによる協奏的反応であることは、これまでにない高い機能を持ったゼオライトの設計指針として重要な成果である。さらに、当初計画では想定されていなかった成果として、有機構造規定剤を添加して合成される *BEA、CHA

型ゼオライトの結晶生成過程の違いを原子レベルで解明することに成功している。

以上のように、高機能ゼオライトの生成過程と機構の解明を目的とする本課題は、部分的には計画より進んだ成果を上げておりと評価できる。最終年度にはこれまでに困難だった水熱条件下でのゼオライト合成の in situ 測定を実現し、原子レベルでの結晶への変化過程を解明していただきたい。

[成果リスト]
(査読付き論文)

- [1] SPring-8 publication ID = 29615
Z. Liu *et al.*: “A Top-Down Methodology for Ultrafast Tuning of Nanosized Zeolites” *Chemical Communications* **51** (2015) 12567-12570.
- [2] SPring-8 publication ID = 32342
M. Kanezashi *et al.*: “Tailoring the Subnano Silica Structure via Fluorine Doping for Development of Highly Permeable CO₂ Separation Membranes” *ChemNanoMat* **2** (2016) 264-267.
- [3] SPring-8 publication ID = 32343
H. Yamada *et al.*: “Downsizing AFX Zeolite Crystals to Nanoscale by a Postmilling Recrystallization Method” *Crystal Growth & Design* **16** (2016) 3389-3394.
- [4] SPring-8 publication ID = 32344
T. Ikuno *et al.*: “Structure-Directing Behaviors of Tetraethylammonium Cations toward Zeolite Beta Revealed by the Evolution of Aluminosilicate Species Formed during the Crystallization Process” *Journal of the American Chemical Society* **137** (2015) 14533-14544.

－ 課題3 －

課題名	サイト選択原子イメージングを基盤技術とした蛍光 X 線・光電子ホログラフィーの相乗利用研究領域の開拓・創成
実験責任者(所属)	林 好一(名古屋工業大学)
採択時の課題番号	2015A0116 (BL13XU)、 2015A0124 (BL25SU)、 2016A0128 (BL39XU)*
利用ビームライン	BL13XU、BL25SU、BL39XU
評価結果	3年目を実施する

* BL39XU は2016A 期より利用開始した。

[評価コメント]

本長期利用課題は、蛍光 X 線ホログラフィーと光電子ホログラフィーの相補的特徴を利用した新しい研究領域の開拓と創成を目標としている。すなわち、蛍光 X 線と光電子の脱出深さの違いに着目し、それぞれのホログラムからバルクと表面のサイト選択的局所構造を再構成することで、先端材料の構造情報を相乗的に得ることを目指している。

前半の3期(2015A~2016A)では装置整備と応用研究を実施してきた。新学術領域研究「3D 活性サイト科学」の助成のもとで新型蛍光 X 線ホログラフィー装置を建設し、50ミクロンサイズの試料の測定を可能にするとともに、測定時間も従来の装置と比べて1/3に短縮することに成功している。また、JASRIにおいて開発された減速電界型アナライザーを用いて、化学シフトが観測可能なエネルギー分解能で光電子ホログラムの観測に成功している。応用研究として、構造材料用合金、光触媒材料、酸化物薄膜、機能性合金、超伝導体の測定を行っている。これらの研究から一定の成果が出ており、本長期利用課題は当初の計画どおりに進んでいると判断できる。

本課題期間の後半では、超伝導材料や新規絶縁体のサイト選択蛍光 X 線・光電子ホログラフィーの融合研究を推進し、これら先端材料の機能を解明するうえで重要な活性サイトの決定を計画している。この計画は目標を達成するうえで適切かつ重要であり、継続して3年目を実施するべきと判断する。ただし、前半の応用研究では蛍光 X 線・光電子ホログラフィーの相乗的な成果が十分には見えていない。実験責任者より提出された中間評価事前提出書類の報告にあるように、蛍光 X 線と光電子の融合研究により表面とバルクの構造を明らかにすることで、材料開発において価値ある知見を提供する相乗的成果が示すことを念頭において3年目を実施していただきたい。

[成果リスト]
(査読付き論文)

- [1] SPring-8 publication ID = 30591
K. Sugita *et al.*: “Development of Micro-Photoelectron Diffraction at SPring-8 BL25SU” *e-Journal of Surface Science and Nanotechnology* **14** (2016) 59-62.
- [2] SPring-8 publication ID = 32027
K. Kaminaga *et al.*: “A Divalent Rare Earth Oxide

Semiconductor: Yttrium Monoxide” *Applied Physics Letters* **108** (2016) 122102.

[3] SPring-8 publication ID = 32404

F. Matsui *et al.*: “Photoelectron Holographic Atomic Arrangement Imaging of Cleaved Bimetal-intercalated Graphite Superconductor Surface” *Scientific Reports* **6** (2016) 36258.

ンスキー・守谷相互作用は結晶構造の対称性に敏感であることから、温度変化のメカニズム解明については、構造変化の可能性も検討していただきたい。

[成果リスト]
登録なし

－ 課題4 －

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)
採択時の課題番号	2015A0117 (BL25SU)、 2015A0125 (BL39XU)
利用ビームライン	BL25SU、BL39XU
評価結果	3年目を実施する

[評価コメント]

本課題は、次世代スピントロニクスデバイス開発につながる期待される、外場によるスピン秩序やスピン流の制御、及びそのメカニズム解明を目指して、X線ナノビーム磁気分光計測手法により、元素選択的にミクロスコピックな電子状態を解明することを目的としている。

この2年間の成果として、Pt/Co 薄膜において電界によりPtに磁性が誘起されるという非常に興味深い現象を見出したばかりでなく、スピン流に起因するスピン蓄積現象の可視化を通じて、ジャロシンスキー・守谷相互作用を定量的に評価する手法を導出し、この相互作用の強度が温度によって変化すること、及びその変化が軌道モーメントの変化に呼応していることを発見した。これらの成果はいずれも世界に先駆けての新発見であり、このような競争の激しい分野において、今後もリードし続けるためにも、最終年度も継続して目標を達成していただきたい。

最終年度の実施計画である、非磁性である単体のPt 薄膜における電圧誘起磁性の検証、及びジャロシンスキー・守谷相互作用と軌道磁気モーメントの相関の研究は、いずれも重要な新発見につながるものであり、将来のスピントロニクスデバイス開発の鍵になると期待される。上記の理由から、本課題は長期利用課題として最終年度も継続して実施するのに相応しい課題であると判断する。なお、ジャロシ

－ 課題5 －

課題名	ナノ X 線顕微分光法を利用した分子環境地球化学的アプローチによるサステナブル科学の推進
実験責任者(所属)	高橋 嘉夫 (東京大学)
採択時の課題番号	2015A0118 (BL01B1)、 2015A0126 (BL27SU)、 2015A0127 (BL37XU)
利用ビームライン	BL01B1、BL27SU、BL37XU
評価結果	3年目を実施する

[評価コメント]

本課題は、ナノ X 線顕微分光法を用いて、環境・エネルギー科学を推進することを目的としている。申請書に記された具体的な研究内容・対象は、1. エアロゾル (PM2.5) 中の鉄化学種の解明と地球温暖化への影響の推定 (温暖化・気候変動関連)、2. マンガン団塊・硫化物中の白金や風化花崗岩中のレアアース・セシウムなど、有用元素や有害元素の濃集過程の解明 (資源・環境科学)、3. 微生物を用いた資源回収 (バイオテクノロジー) である。本課題では、複数のビームラインを用いたナノ X 線顕微分光法の高度化及び活用を通して、高輝度放射光が環境・エネルギー科学に資する有力なツールであることを社会に更に広く示す成果が得られると期待される。

ビームライン担当者達との連携の下で、微小ビームを活かした高感度蛍光分光 XRF-XAFS 法の実用化、QXAFS や蛍光 X 線のマッピング測定の高速度化、差 XRF マッピングの実現など実際の測定に当たり、実験の進め方を判断するために要する時間や測定時間を短縮する方法を実現している。これらの手法は他の課題にも有効であり、放射光利用に長けていない多くの研究者によって放射光を活用した研究を支えたと期待される。

研究課題の1、2を優先し、それぞれ計画どおりに研究が進捗している。また、環礁の土壌を比較し、表層の土壌 (堆積物) で酸性化が起き、土壌中の有

孔虫から Mg が溶出して有孔虫の空隙率が増加していることを明らかにした。

今後は、これらの対象についてエネルギー可変の X 線 μ -CT 分析を行い、XAFS-CT 分析で環境化学的に有効なデータを得ることを計画しており、3年目の実施を推奨する。

これらの研究成果が地球温暖化対策の策定などの分野で活用されるように研究成果の発信を期待する。また、提案されている研究課題は社会的関心も高いものであるため、社会へ向けた情報発信を進めていただきたい。

[成果リスト]
(査読付き論文)

[1] SPring-8 publication ID = 30869

Y. Takahashi *et al.*: “Transfer of Rare Earth Elements (REE) from Manganese Oxides to Phosphates during Early Diagenesis in Pelagic Sediments Inferred from REE Patterns, X-ray Absorption Spectroscopy, and Chemical Leaching Method” *Geochemical Journal* **49** (2015) 653-674.

[2] SPring-8 publication ID = 32084

M. Kurisu *et al.*: “Variation of Iron Isotope Ratios in Anthropogenic Materials Emitted through Combustion Processes” *Chemistry Letters* **45** (2016) 970-972.

[3] SPring-8 publication ID = 32085

K. Fukushi *et al.*: “Arsenate Sorption on Monohydrocalcite by Coprecipitation during Transformation to Aragonite” *Journal of Hazardous Materials* **304** (2016) 110-117.

[4] SPring-8 publication ID = 32494

M. Kurisu *et al.*: “Very Low Isotope Ratio of Iron in Fine Aerosols Related to Its Contribution to the Surface Ocean” *Journal of Geophysical Research* **121** (2016) 11119-11136.

[5] SPring-8 publication ID = 32620

K. Tokunaga *et al.*: “Application of Arsenic in Barite as a Redox Indicator for Suboxic/Anoxic Redox Condition” *Chemical Geology* **447** (2016) 59-69.

— 課題6 —

課題名	ゲノム編集ツール Cas9 エンドヌクレアーゼの X 線結晶構造解析
実験責任者(所属)	濡木 理 (東京大学)
採択時の課題番号	2015A0119
利用ビームライン	BL41XU
評価結果	3年目を実施する

[評価コメント]

本長期利用課題は、現在多くの注目を集めている、細菌の免疫システムを利用したゲノム編集ツールである Cas9 エンドヌクレアーゼの X 線結晶構造解析を行い、その変異体解析により、より高効率で使いやすいゲノム編集ツールを開発することを目的としている。2015A~2016A 期においては、3種類の細菌に由来する Cas9 と RNA、DNA との複合体の構造解析を行って、配列認識の元となる構造的特徴を明らかにしている。さらに、これらの立体構造に基づいて Cas9 変異体を作成し、配列認識の改変に成功しているとともに、その構造的裏付けを確認している。また、最近発見された Cas9 と類似のエンドヌクレアーゼである Cpf1 についても、RNA、標的 DNA との複合体を結晶化し構造を明らかにして、Cpf1 の DNA 切断機構を解明した。これらの成果は Cell 誌の3本の論文を始めとして高インパクトファクターの雑誌に掲載されており、大きな成果として世界的に認知されている。

これらの研究は、より小さく細胞に入れやすい Cas9 や、より広範囲の配列を標的にできる Cas9 を作るなど、ゲノム編集ツールを改良する上での基礎データを提供するものである。今後はさらに多くの Cas9 類似タンパクについても構造を決定し、また多くの変異体を作り出してその構造と配列認識機能の関係を明らかにすることによって、ゲノム編集ツールの改良が進められることが期待できる。本研究テーマは国際的に注目を浴びており、特許競争が厳しくなっているが、これまでどおりにアカデミックな姿勢を貫き、広く利用されるゲノム編集ツールが生み出されることが望まれる。よって、本課題は3年目も実施することが適当である。

[成果リスト]
(査読付き論文)

[1] SPring-8 publication ID = 32883

H. Nishimasu *et al.*: “Crystal Structure of

Staphylococcus aureus Cas9” *Cell* **162** (2015) 1113-1126.

[2] SPring-8 publication ID = 32884

H. Hirano *et al.*: “Structure and Engineering of *Francisella novicida* Cas9” *Cell* **164** (2016) 950-961.

[3] SPring-8 publication ID = 32885

S. Hirano *et al.*: “Structural Basis for the Altered PAM Specificities of Engineered CRISPR-Cas9” *Molecular Cell* **61** (2016) 886-894.

— 課題7 —

課題名	自己組織化巨大球状錯体分子群の単結晶 X 線構造解析とタンパク質構造解析への展開
実験責任者(所属)	藤田 誠 (東京大学)
採択時の課題番号	2015A0120 (BL38B1)、 2016A0129 (BL41XU)*
利用ビームライン	BL38B1、BL41XU
評価結果	3年目を実施する

* BL41XU は2016A 期より利用開始した。

[評価コメント]

本課題は、自己組織化された巨大球状錯体分子、及び、その内部にタンパク質分子を包含させた球状錯体分子-タンパク質複合体の構造解析の基盤技術を確立し、自己組織化された巨大球状錯体分子群を生体高分子やナノ粒子との複合利用による産業利用へ展開することを目的にしている。

本課題の2年間には、球状錯体分子の大型化に際して「配位子の柔軟性」が重要であることを見出し、その柔軟性を制御するために、「柔らかさ」を有する有機配位子スペーサーを設計して自己集合挙動を検討した。その結果、 $M_{30}L_{60}$ という構成成分90の前人未踏の巨大分子の精密合成に成功するとともに、溶媒（水分子）含有率90%という難度の高い構造解析にも成功した。さらに、当初の計画では想定していなかった自己集合の本質に迫る興味深い幾何学的な問題も見出され、その成果も *Nature* 誌に投稿中である。これらはいずれも世界に先駆けての非常にユニークな研究成果で、X 線結晶構造解析の分野においてネックとなっている結晶化の問題が解決され、パラダイムシフトが期待できる。

本課題がスタートした時点では、有機配位子をスペーサーとして用いた $M_{12}L_{24}$ 錯体を合成し、その

内部に小タンパク質であるユビキチンを内包することに成功したが、X 線構造解析の結果、錯体内部に包接されたタンパク質が揺らいでおり、タンパク質に由来する電子密度は観測されるものの、その解釈（アミン酸残基の帰属など）は困難であった。

以上のことから、今後は、 $M_{30}L_{60}$ への中・大タンパク質分子の内包と結晶化、構造解析へと研究を展開させるとともに、小分子の包接のときに見られた自己組織化錯体分子の適合誘導的な構造変化による分子の固定化に習い、巨大球状錯体内部におけるタンパク質分子の固定化の問題にも精力的に取り組まれない。

[成果リスト]

(査読付き論文)

[1] SPring-8 publication ID = 32201

D. Fujita *et al.*: “Self-Assembly of $M_{30}L_{60}$ Icosidodecahedron” *Chem* **1** (2016) 91-101.

[2] SPring-8 publication ID = 32690

D. Fujita *et al.*: “Self-Assembly of Tetravalent Goldberg Polyhedra from 144 Small Components” *Nature* **540** (2016) 563-566.

SPring-8 運転・利用状況

公益財団法人高輝度光科学研究センター
企画調整部

◎平成28年9～12月の運転・利用実績

SPring-8は9月8日から10月15日まで第5サイクルの運転を、10月17日から11月26日まで第6サイクルの運転を、11月28日から12月21日まで第7サイクルの運転をセベラルバンチ運転で実施した。第5～7サイクルでは緊急地震速報（震源地：鳥取県中部）による全系加速器の運転停止（非常停止）等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5サイクルは約1%、第6サイクルは約0.7%、第7サイクルは約0.4%であった。

1. 装置運転関係

(1) 運転期間

第5サイクル（9/8(木)～10/15(土)）

第6サイクル（10/17(月)～11/26(土)）

第7サイクル（11/28(月)～12/21(水)）

(2) 運転時間の内訳

第5サイクル

運転時間総計 約885時間

①装置の調整およびマシンスタディ等 約213時間

②放射光利用運転時間 約665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1%

第6サイクル

運転時間総計 約961時間

①装置の調整およびマシンスタディ等 約121時間

②放射光利用運転時間 約834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 0時間

総放射光利用運転時間(ユーザータイム = ② + ③

+ ④)に対する down time の割合(*1) 約0.7%

第7サイクル

運転時間総計 約551時間

①装置の調整およびマシンスタディ等 約71時間

②放射光利用運転時間 約477時間

③故障等による down time 約2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0.4%

(3) 運転スペック等

第5サイクル（セベラルバンチ運転）

- 406 bunches

- 11/29-filling + 1 bunch

- 1/14-filling + 12 bunches

- 4 bunch train × 84

第6サイクル（セベラルバンチ運転）

- 11 bunch train × 29

- 11 bunch train × 29

- 1/14-filling + 12 bunches

第7サイクル（セベラルバンチ運転）

- 203 bunches

- 11/29-filling + 1 bunch

- 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

- 第5サイクルの運転モード（Aモード）については406 bunches に変更して実施。

(4) 主な down time の原因

- 電圧変動（零相電圧上昇）によるアボート

- 地震（鳥取県中部）によるアボート

2. 利用関係

(1) 放射光利用実験期間

第5サイクル (9/15(木)～10/15(土))

第6サイクル (10/18(火)～11/26(土))

第7サイクル (11/29(火)～12/19(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	9本
加速器診断ビームライン	2本

第5サイクル (暫定値)

共同利用研究実験数	336件
共同利用研究者数	1,513名
専用施設利用研究実験数	220件
専用施設利用研究者数	914名

第6サイクル (暫定値)

共同利用研究実験数	432件
共同利用研究者数	2,020名
専用施設利用研究実験数	305件
専用施設利用研究者数	1,347名

第7サイクル (暫定値)

共同利用研究実験数	277件
共同利用研究者数	1,291名
専用施設利用研究実験数	179件
専用施設利用研究者数	724名

◎今後の予定

SPring-8は12月22日から3月31日まで冬期点検調整期間とし、加速器やビームラインに係わる機器の改造・点検作業、電気・冷却設備等の機器の点検作業を実施する。

また、特高第一変電所関連設備の竣工後約20年を迎え、かなりの老朽化が進んできていることから、(II期)工事として主変圧器等の更新工事を予定している。

工事に伴い、特高第一変電所関連施設で停電が発生するため、建物内への立ち入り制限を実施する。

(*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 (2016年12月31日現在)

SPring-8

Beamline Name		Public Use Since	~2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Total	
Public Beamlines	BL01B1	XAFS	1997.10	205	35	54	59	57	75	65	73	90	71	67	851
		Technical Journal							1						1
	BL02B1	Single Crystal Structure Analysis	1997.10	86	10	9	12	19	12	17	36	40	33	34	308
	BL02B2	Powder Diffraction	1999. 9	252	46	65	65	66	81	57	95	67	73	80	947
	BL04B1	High Temperature and High Pressure Research	1997.10	100	15	14	18	21	21	16	16	18	14	16	269
	BL04B2	High Energy X-ray Diffraction	1999. 9	81	39	17	26	28	23	28	28	31	35	33	369
		Technical Journal								1					1
	BL08W	High Energy Inelastic Scattering	1997.10	76	15	8	10	12	20	19	13	13	19	11	216
	BL09XU	Nuclear Resonant Scattering	1997.10	63	12	11	9	8	13	13	15	14	17	12	187
	BL10XU	High Pressure Research	1997.10	154	34	32	24	34	31	28	19	28	21	21	426
	BL13XU	Surface and Interface Structure	2001. 9	54	22	27	16	18	22	6	16	20	22	28	251
	BL14B2	Engineering Science Research II	2007. 9			2	16	25	31	35	50	53	59	39	310
		Technical Journal								1	1	1			3
	BL19B2	Engineering Science Research I	2001.11	60	19	22	20	18	35	52	56	58	61	50	451
		Technical Journal								1	1	1	2		5
	BL20B2	Medical and Imaging I	1999. 9	105	15	25	14	16	25	33	28	25	32	14	332
	BL20XU	Medical and Imaging II	2001. 9	34	20	24	24	35	28	20	40	43	37	26	331
	BL25SU	Soft X-ray Spectroscopy of Solid	1998. 4	165	42	24	21	20	24	22	24	27	19	16	404
		Technical Journal								2					2
	BL27SU	Soft X-ray Photochemistry	1998. 5	172	25	36	13	21	31	16	40	31	22	32	439
	BL28B2	White Beam X-ray Diffraction	1999. 9	37	16	15	14	9	15	9	20	16	19	13	183
	BL35XU	High Resolution Inelastic Scattering	2001. 9	26	13	19	5	9	12	8	13	12	15	12	144
	BL37XU	Trace Element Analysis	2002.11	35	13	12	12	20	23	13	30	28	30	19	235
		Technical Journal										1			1
	BL38B1	Structural Biology III	2000.10	139	42	45	53	46	46	59	58	48	62	46	644
	BL39XU	Magnetic Materials	1997.10	91	19	14	27	13	19	21	18	22	17	19	280
	BL40B2	Structural Biology II	1999. 9	187	47	24	30	43	41	41	70	54	50	47	634
		Technical Journal									1		1		2
	BL40XU	High Flux	2000. 4	42	14	9	12	11	13	17	36	18	28	29	229
	BL41XU	Structural Biology I	1997.10	315	68	61	78	65	65	53	65	55	54	44	923
BL43IR	Infrared Materials Science	2000. 4	32	8	13	10	5	8	10	8	11	17	12	134	
BL46XU	Engineering Science Research III	2000.11	34	12	18	12	19	22	15	34	24	46	37	273	
	Technical Journal											1		1	
BL47XU	HXPES・MCT	1997.10	114	27	22	27	25	28	16	34	35	22	23	373	
Public Use at Other Beamlines	BL11XU	QST Quantum Dynamics I	1999. 3	8	1	4								13	
	BL14B1	QST Quantum Dynamics II	1998. 4	27	7	3	3	3	2	1		1		47	
	BL15XU	WEBRAM	2002. 9	17	7	5	2	1	1	1		1		35	
	BL17SU	RIKEN Coherent Soft X-ray Spectroscopy	2005. 9		1	3	2	1	7	6	11	10	5	2	48
	BL19LXU	RIKEN SR Physics	2002. 9	5								1	1	1	8
	BL22XU	JAEA Actinide Science I	2004. 9	4		1					1				6
	BL23SU	JAEA Actinide Science II	1998. 6	25	13	4	2	2		2	3	2			53
	BL26B1	RIKEN Structural Genomics I	2009. 4						3	8	2	8	5	12	38
	BL26B2	RIKEN Structural Genomics II	2009. 4					1		5	3	4	5	8	26
	BL29XU	RIKEN Coherent X-ray Optics	2002. 9	6	2	4	1					1			14
	BL32XU	RIKEN Targeted Proteins	2010.10						5	5	8	9	12	3	42
	BL44B2	RIKEN Materials Science	1998. 5	9											4
	BL45XU	RIKEN Structural Biology I	1997.10	50	11	4	11	8	9	6	7	8	12	18	144
Subtotal				2810	670	650	648	679	791	723	970	926	935	828	10630

Beamline Name		Public Use Since	~2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Total	
Contract Beamlines	BL03XU	Advanced Softmaterials	2009.11				1	5	8	23	21	12	17	87	
		Technical Journal							35	42	39	36		152	
	BL07LSU	The University-of-Tokyo Outstation Beamline for Materials Science	2009.11				1	5	6	10	10	11	14	57	
	BL08B2	Hyogo Prefecture BM	2005. 9				1	1	3	6	7	5	5	28	
		Technical Journal							7	1	18	7	3	36	
	BL11XU	QST Quantum Dynamics I		37	13	7	7	9	6	13	16	14	8	17	147
	BL12B2	NSRRC BM	2001. 9	79	8	9	7	28	13	25	22	21	17	14	243
	BL12XU	NSRRC ID	2003. 2	12	6	8	5	15	10	14	11	16	17	11	125
	BL14B1	QST Quantum Dynamics II		44	11	18	16	18	16	11	10	15	19	13	191
	BL15XU	WEBRAM	2001. 4	52	14	17	28	35	49	40	59	56	45	48	443
	BL16B2	Sunbeam BM	1999. 9	22	6	3	6	6	5	3	3	6	3	8	71
		Technical Journal				2				18	17	14	11	10	72
	BL16XU	Sunbeam ID	1999. 9	20	5	1	6	5	2	2	2	3	4	7	57
		Technical Journal								21	21	18	18	9	87
	BL22XU	JAEA Actinide Science I		18	13	5	9	15	10	10	14	19	14	11	138
	BL23SU	JAEA Actinide Science II		71	14	25	22	15	22	20	17	27	18	21	272
	BL24XU	Hyogo Prefecture ID	1998.10	98	12	7	8	5	6	7	8	5	4	5	165
		Technical Journal								11	3	10	3	1	28
	BL28XU	RISING II	2012. 4								3	9	5	5	22
	BL31LEP	Laser-Electron Photon II	2013.10									1			1
	BL32B2	Pharmaceutical Industry (2002. 9 - 2012. 3)		11	4	6	1	2	3				1		28
	BL33LEP	Laser-Electron Photon	2000.10	22	2	3	5	8	2	3	4	3	2	1	55
	BL33XU	Toyota	2009. 5						2	5	2	8	4	10	31
		Technical Journal							2	5	4	5	3	4	23
	BL36XU	Catalytic Reaction Dynamics for Fuel Cell	2013. 1								1	7	6	5	19
	BL44XU	Macromolecular Assemblies	2000. 2	95	27	22	30	20	48	57	58	46	54	29	486
	Subtotal		581	135	131	150	184	205	227	269	294	249	241	2666	
RIKEN Beamlines	BL17SU	Coherent Soft X-ray Spectroscopy		11	9	18	13	12	10	13	3	7	4	4	104
	BL19LXU	SR Physics		38	12	5	11	7	8	10	12	13	8	1	125
	BL26B1	Structural Genomics I		79	20	23	13	14	7	8	7	4	5	3	183
	BL26B2	Structural Genomics II		18	6	19	6	18	18	19	13	4	3	4	128
	BL29XU	Coherent X-ray Optics		85	20	14	9	15	8	15	15	8	10	10	209
	BL32XU	Targeted Proteins							2	9	8	8	6	6	39
	BL43LXU	Quantum NanoDynamics											1	1	2
	BL44B2	Materials Science		144	21	15	10	9	12	11	13	12	16	6	269
	BL45XU	Structural Biology I		131	14	16	9	8	9	9	9	9	12	3	229
		Subtotal		506	102	110	71	83	74	94	80	65	65	38	1288

SACLA

Public Beamlines	Beamline Name	Public Use Since	~2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Total
BL2/BL3	XFEL2/XFEL1	2012. 3								14	23	33	39	109

Hardware / Software R & D	332	14	21	29	24	33	34	53	9	28	23	600
---------------------------	-----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	-----

NET Sum Total	3585	793	786	787	849	931	895	1146	1037	1057	939	12805
Technical Journal			2			2	90	84	100	73	24	375

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 2016 年 12 月 31 日までに登録されたデータに基づいており、今後変更される可能性があります。

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

成果発表出版形式別登録数 (2016年12月31日現在)

SPring-8

Beamline Name		Public Use Since	Refereed Papers	Proceedings	Other Publications	Total	
Public Beamlines	BL01B1	XAFS	1997.10	852	66	84	1002
	BL02B1	Single Crystal Structure Analysis	1997.10	308	14	31	353
	BL02B2	Powder Diffraction	1999. 9	947	40	82	1069
	BL04B1	High Temperature and High Pressure Research	1997.10	269	7	48	324
	BL04B2	High Energy X-ray Diffraction	1999. 9	370	13	49	432
	BL08W	High Energy Inelastic Scattering	1997.10	216	10	40	266
	BL09XU	Nuclear Resonant Scattering	1997.10	187	15	33	235
	BL10XU	High Pressure Research	1997.10	426	22	59	507
	BL13XU	Surface and Interface Structure	2001. 9	251	18	33	302
	BL14B2	Engineering Science Research II	2007. 9	313	10	32	355
	BL19B2	Engineering Science Research I	2001.11	456	45	85	586
	BL20B2	Medical and Imaging I	1999. 9	332	87	86	505
	BL20XU	Medical and Imaging II	2001. 9	331	101	111	543
	BL25SU	Soft X-ray Spectroscopy of Solid	1998. 4	406	16	58	480
	BL27SU	Soft X-ray Photochemistry	1998. 5	439	21	33	493
	BL28B2	White Beam X-ray Diffraction	1999. 9	183	16	22	221
	BL35XU	High Resolution Inelastic Scattering	2001. 9	144	5	11	160
	BL37XU	Trace Element Analysis	2002.11	236	24	43	303
	BL38B1	Structural Biology III	2000.10	644	11	56	711
	BL39XU	Magnetic Materials	1997.10	280	17	74	371
	BL40B2	Structural Biology II	1999. 9	636	13	105	754
	BL40XU	High Flux	2000. 4	229	20	68	317
	BL41XU	Structural Biology I	1997.10	923	4	96	1023
	BL43IR	Infrared Materials Science	2000. 4	134	14	53	201
	BL46XU	Engineering Science Research III	2000.11	274	18	32	324
	BL47XU	HXPES・MCT	1997.10	373	93	117	583
Public Use at Other Beamlines	BL11XU	QST Quantum Dynamics I	1999. 3	13	2	2	17
	BL14B1	QST Quantum Dynamics II	1998. 4	47	1	11	59
	BL15XU	WEBRAM	2002. 9	35	19	7	61
	BL17SU	RIKEN Coherent Soft X-ray Spectroscopy	2005. 9	48	1	29	78
	BL19LXU	RIKEN SR Physics	2002. 9	8		1	9
	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	38		3	41
	BL26B2	RIKEN Structural Genomics II	2009. 4	26	1	5	32
	BL29XU	RIKEN Coherent X-ray Optics	2002. 9	14		1	15
	BL32XU	RIKEN Targeted Proteins	2010.10	42		3	45
	BL44B2	RIKEN Materials Science	1998. 5	13		3	16
	BL45XU	RIKEN Structural Biology I	1997.10	144	5	18	167
	Subtotal			10646	753	1639	13038

Beamline Name		Public Use Since	Refereed Papers	Proceedings	Other Publications	Total	
Contract Beamlines	BL03XU	Advanced Softmaterials	2009.11	239		9	248
	BL07LSU	The University-of-Tokyo Outstation Beamline for Materials Science	2009.11	57		7	64
	BL08B2	Hyogo Prefecture BM	2005. 9	64			64
	BL11XU	QST Quantum Dynamics I		147	8	33	188
	BL12B2	NSRRC BM	2001. 9	243	1	2	246
	BL12XU	NSRRC ID	2003. 2	125	7	3	135
	BL14B1	QST Quantum Dynamics II		191	11	62	264
	BL15XU	WEBRAM	2001. 4	443	11	38	492
	BL16B2	Sunbeam BM	1999. 9	143	12	61	216
	BL16XU	Sunbeam ID	1999. 9	144	8	43	195
	BL22XU	JAEA Actinide Science I		138	1	35	174
	BL23SU	JAEA Actinide Science II		272	44	101	417
	BL24XU	Hyogo Prefecture ID	1998.10	193	19	58	270
	BL28XU	RISING II	2012. 4	22			22
	BL31LEP	Laser-Electron Photon II	2013.10	1			1
	BL32B2	Pharmaceutical Industry (2002. 9 - 2012. 3)		28		3	31
	BL33LEP	Laser-Electron Photon	2000.10	55	23	3	81
	BL33XU	Toyota	2009. 5	54	5	11	70
	BL36XU	Catalytic Reaction Dynamics for Fuel Cell	2013. 1	19			19
	BL44XU	Macromolecular Assemblies	2000. 2	486		39	525
Subtotal			3064	150	508	3722	
RIKEN Beamlines	BL17SU	Coherent Soft X-ray Spectroscopy		104	4	13	121
	BL19LXU	SR Physics		125	8	26	159
	BL26B1	Structural Genomics I		183	2	19	204
	BL26B2	Structural Genomics II		128	1	13	142
	BL29XU	Coherent X-ray Optics		209	14	37	260
	BL32XU	Targeted Proteins		39		4	43
	BL43LXU	Quantum NanoDynamics		2			2
	BL44B2	Materials Science		269	2	15	286
	BL45XU	Structural Biology I		229	5	44	278
	Subtotal			1288	36	171	1495

SACLA

Public Beamlines	Beamline Name		Public Use Since	Refereed Papers	Proceedings	Other Publications	Total
	BL2/BL3	XFEL2/XFEL1	2012. 3	109	3	14	126

Hardware / Software R & D	600	502	458	1560
---------------------------	-----	-----	-----	------

NET Sum Total	13180	1289	2145	16614
---------------	-------	------	------	-------

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/

このデータベースに登録された原著論文の内、平成28年10月～12月に登録されたものを以下に紹介します。論文の情報(主著者、巻、発行年、ページ、タイトル)に加え、データベースの登録番号(研究成果番号)を掲載していますので、詳細は上記検索ページの検索結果画面でご覧いただくことができます。また実施された課題の情報(課題番号、ビームライン、実験責任者名)も掲載しています。課題番号は最初の4文字が「year」、次の1文字が「term」、後ろの4文字が「proposal no.」となっていますので、この情報から以下の URL で公表している、各課題の英文利用報告書(SPring-8 User Experiment Report)を探してご覧いただくことができます。

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

今後も利用者情報には発行月の2ヶ月前の月末締めで、前号掲載分以降に登録された論文情報を掲載していく予定です。なお、データベースは毎日更新されていますので、最新情報は SPring-8 論文データベース検索ページでご確認ください。なお、実験責任者のかたには、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2016年10月～12月に登録された論文が掲載された主な雑誌と掲載論文数

掲載雑誌	登録論文数	掲載雑誌	登録論文数
Scientific Reports	20	Nature Communications	6
Journal of the Physical Society of Japan	11	Acta Crystallographica Section F	5
Journal of the American Chemical Society	10	AIP Conference Series	5
Angewandte Chemie International Edition	7	博士論文(大阪大学)	5
Physical Review B	7	Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A	5
The Journal of Physical Chemistry C	7		
ACS Catalysis	6	Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America	5
Inorganic Chemistry	6		
Nature	6		

他全186誌、計356報

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

課題の成果として登録された論文

Scientific Reports

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
32149	Yuki Orikasa	6 (2016) 26382	2013B1022	BL47XU	内本 喜晴	Ionic Conduction in Lithium Ion Battery Composite Electrode Governs Cross-Sectional Reaction Distribution
			2014B1816	BL01B1	折笠 有基	
			2013B1013	BL47XU	小久見 善八	
32153	Kei Sugiura	6 (2016) 25154	2015B1848	BL14B2	関根 泰	Low-Temperature Catalytic Oxidative Coupling of Methane in an Electric Field over a Ce-W-O Catalyst System
32184	Yoshiya Yamamoto	6 (2016) 30946	2013B4127	BL12B2	水木 純一郎	Origin of Pressure-induced Superconducting Phase in $K_xFe_{2-y}Se_2$ Studied by Synchrotron X-ray Diffraction and Spectroscopy
			2013B4256	BL12XU	水木 純一郎	
			2014A4257	BL12XU	水木 純一郎	
32238	Takao Shimizu	6 (2016) 32931	2014B4704	BL15XU	清水 荘雄	The Demonstration of Significant Ferroelectricity in Epitaxial Y-Doped HfO_2 Film
			2014A4702	BL15XU	吉松 公平	
32244	Ryuta Mizutani	6 (2016) 35061	2011A0034	BL20XU	水谷 隆太	Three-Dimensional X-ray Visualization of Axonal Tracts in Mouse Brain Hemisphere
			2013A1441	BL20B2	上杉 健太郎	
			2014B1096	BL20B2	水谷 隆太	
			2015A1160	BL20XU	水谷 隆太	
			2015B1101	BL20XU	水谷 隆太	
32251	Lars-Philip Oloff	6 (2016) 35087	2015A8016	BL2	大浦 正樹	Time-Resolved HAXPES using a Microfocused XFEL Beam: From Vacuum Space-Charge Effects to Intrinsic Charge-Carrier Recombination Dynamics
			2015B8003	BL2	大浦 正樹	
			理研	BL17SU		
32257	Shoichiro Horita	6 (2016) 35297	2015A1104	BL41XU	野村 紀通	High-Resolution Crystal Structure of the Therapeutic Antibody Pembrolizumab Bound to the Human PD-1
			2016A2570	BL41XU	野村 紀通	
32327	Shunsuke Kimura	6 (2016) 33548	2011A1052	BL41XU	深井 周也	Distinct Roles for the N- and C-terminal Regions of M-Sec in Plasma Membrane Deformation during Tunneling Nanotube Formation
			2010B1977	BL32XU	深井 周也	
			2010A1815	BL41XU	深井 周也	
			2010A1904	BL41XU	深井 周也	
			2010A1939	BL41XU	深井 周也	
32388	Yoshihiro Tsujimoto	6 (2016) 36253	2013A1135	BL39XU	辻本 吉廣	Pressure-Driven Spin Crossover Involving Polyhedral Transformation in Layered Perovskite Cobalt Oxyfluoride
32404	Fumihiko Matui	6 (2016) 36258	2015B1007	BL25SU	松井 文彦	Photoelectron Holographic Atomic Arrangement Imaging of Cleaved Bimetal-intercalated Graphite Superconductor Surface
			2015A0116	BL25SU	林 好一	
32410	Jiadong Fan	6 (2016) 34008	2012A8045	BL3	Earnest Thomas	Single-Pulse Enhanced Coherent Diffraction Imaging of Bacteria with an X-ray Free-Electron Laser
32439	Satoshi Matsuyama	6 (2016) 24801	2015B8013	BL3	山内 和人	Nearly Diffraction-Limited X-ray Focusing with Variable-Numerical-Aperture Focusing Optical System Based on Four Deformable Mirrors
			理研	BL29XU		
32501	Chiaki Okada	6 (2016) 32822	2011B1385	BL41XU	姚 閔	Crystal Structures of the UDP-diacetylglucosamine Pyrophosphohydrolase LpxH from <i>Pseudomonas aeruginosa</i>
32601	Michio Okada	6 (2016) 31101	2015A3870	BL23SU	岡田 美智雄	Experimental and Theoretical Studies on Oxidation of Cu-Au Alloy Surfaces: Effect of Bulk Au Concentration
			2015B3870	BL23SU	岡田 美智雄	
			2015B3801	BL23SU	吉越 章隆	
32665	Shinichirou Minemoto	6 (2016) 38654	2014B8022	BL3	柳下 明	Structure Determination of Molecules in an Alignment Laser Field by Femtosecond Photoelectron Diffraction using an X-ray Free-Electron Laser
			2015A8020	BL3	柳下 明	
32687	Jun Fujioka	5 (2015) 13207	2012A1009	BL02B1	有馬 孝尚	Ferroelectric-Like Metallic State in Electron Doped $BaTiO_3$
			理研	BL44B2		

Journal of the Physical Society of Japan-1

32185	Michal Valiska	84 (2015) 084707	2014B3821	BL23SU	竹田 幸治	Gradual Localization of $5f$ States in Orthorhombic UTX Ferromagnets: Polarized Neutron Diffraction Study of Ru Substituted $UCoGe$
			2014A3821	BL23SU	竹田 幸治	
32186	Yasuhiro Matsuda	85 (2016) 115001	2014A1217	BL39XU	松田 康弘	Valence State in $CeIrIn_5$ at High Magnetic Fields of up to 42 T

Journal of the Physical Society of Japan-2

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
32192	Yoshihiko Kobayashi	85 (2016) 114704	2013B1385	BL47XU	大川 万里生	Ce Core-Level Spectroscopy, and Magnetic and Electrical Transport Properties of Lightly Ce-Doped YCoO ₃
			2015B1019	BL47XU	齋藤 智彦	
			2015B1340	BL47XU	齋藤 智彦	
			2016A1313	BL47XU	大川 万里生	
32222	Shinobu Aoyagi	85 (2016) 094605	2013A0100	BL02B1	青柳 忍	Tunneling Motion and Antiferroelectric Ordering of Lithium Cations Trapped inside Carbon Cages
32242	Yasuo Narumi	85 (2016) 114705	2010B1688	BL25SU	森岡 貴之	Evidence of Charge Transfer and Orbital Magnetic Moment in Multiferroic CuFeO ₂
			2012A1466	BL25SU	鳴海 康雄	
			2012B1322	BL25SU	鳴海 康雄	
			2013B1220	BL25SU	鳴海 康雄	
32299	Yuji Saitoh	85 (2016) 114713	2011B3834	BL23SU	関山 明	Electronic Structures of Ferromagnetic CeAgSb ₂ : Soft X-ray Absorption, Magnetic Circular Dichroism, and Angle-Resolved Photoemission Spectroscopies
			2012A3834	BL23SU	齋藤 祐児	
			2012B3834	BL23SU	齋藤 祐児	
32300	Masaaki Kobata	85 (2016) 094703	2013B3822	BL23SU	小島 雅明	Electronic Structure of EuAl ₄ Studied by Photoelectron Spectroscopy
			2013A3820	BL23SU	藤森 伸一	
32646	Hidenori Fujiwara	81 (2012) SB069	2000B0338	BL25SU	菅 滋正	Soft- and Hard-X-ray Photoemission Spectroscopy of La _{2-2x} Sr _{1+2x} Mn ₂ O ₇
			2001A0129	BL25SU	関山 明	
			2003A0593	BL25SU	関山 明	
			2004B0396	BL25SU	菅 滋正	
			2005A0383	BL25SU	藤原 秀紀	
			理研	BL19LXU		

Angewandte Chemie International Edition

32193	Liu Xiao	55 (2016) 7943-7947	2014A1560	BL14B2	前川 佳史	Heterogeneous Catalysis for Water Oxidation by an Iridium Complex Immobilized on Bipyridine-Periodic Mesoporous Organosilica
			2013B1833	BL14B2	原 賢二	
32199	Ryo Kamai	55 (2016) 13184-13188	2015B1174	BL01B1	神谷 和秀	Oxygen-Tolerant Electrodes with Platinum-Loaded Covalent Triazine Frameworks for the Hydrogen Oxidation Reaction
			2016A1120	BL01B1	神谷 和秀	
			2016A1464	BL01B1	神谷 和秀	
32233	Masaki Shimada	55 (2016) 3022-3026	2015A1367	BL02B1	山野井 慶徳	Bright Solid-State Emission of Disilane-Bridged Donor-Acceptor-Donor and Acceptor-Donor-Acceptor Chromophores
32253	Hirosuke Matsui	55 (2016) 12022-12025	2011B1889	BL39XU	唯 美津木	Imaging of Oxygen Diffusion in Individual Platinum/Ce ₂ Zr ₂ O _x Catalyst Particles During Oxygen Storage and Release
			2013B7821	BL36XU	唯 美津木	
			2014A7821	BL36XU	唯 美津木	
			2014B7821	BL36XU	唯 美津木	
			2015A7821	BL36XU	唯 美津木	
32498	Bo-Mei Liu	55 (2016) 4967-4971	2015A0074	BL02B2	森吉 千佳子	Unconventional Luminescent Centers in Metastable Phases Created by Topochemical Reduction Reactions
32557	Taisuke Matsuno	55 (2016) 15339-15343	2015B1102	BL38B1	佐藤 宗太	Self-Sorting of Two Hydrocarbon Receptors with One Carbonaceous Ligand
			2015B1477	BL40XU	佐藤 宗太	
			2014B2016	BL26B2	佐藤 宗太	
32565	Pauline Serrano	55 (2016) 14575-14579	2015B1134	BL09XU	Wang Hongxin	Nitrosylation of Nitric-Oxide-Sensing Regulatory Proteins Containing [4Fe-4S] Clusters Gives Rise to Multiple Iron-Nitrosyl Complexes
			2013B0103	BL09XU	Cramer Stephen	
			2016A1154	BL09XU	Wang Hongxin	

The Journal of Physical Chemistry C-1

32156	Takayuki Suzuki	120 (2016) 21571-21579	2013B1240	BL02B2	近藤 篤	Structural Investigation of a Flexible MOF [Cu(BF ₄) ₂ (1,3-bis(4-pyridyl)propane) ₂] Showing Selective Gate Adsorption with Dynamic Pore-Opening/Pore-Closing Processes
			2015B1792	BL02B2	近藤 篤	
32170	Junya Ohyama	120 (2016) 15129-15136	2014B1508	BL01B1	大山 順也	Effect of FeO _x Modification of Al ₂ O ₃ on Its Supported Au Catalyst for Hydrogenation of 5-Hydroxymethylfurfural
			2016A1649	BL01B1	植田 格弥	
32203	Mika Fukunishi	120 (2016) 15017-15026	2013B1546	BL46XU	駒場 慎一	Impact of the Cut-Off Voltage on Cyclability and Passive Interphase of Sn-Polyacrylate Composite Electrodes for Sodium-Ion Batteries
			2014B1609	BL46XU	駒場 慎一	
32208	Seiichi Furukawa	120 (2016) 21235-21241	2015B1305	BL45XU	込山 英秋	Controlling Open-Circuit Voltage in Organic Solar Cells by Terminal Fluoro-Functionalization of Narrow-Bandgap π -Conjugated Molecules
32331	Satoshi Hinokuma	120 (2016) 24734-24742	2015B1463	BL01B1	日隈 聡士	Copper Oxides Supported on Aluminum Oxide Borates for Catalytic Ammonia Combustion

The Journal of Physical Chemistry C-2

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
32254	Nozomu Ishiguro	120 (2016) 19642-19651	2013A7820	BL36XU	唯 美津木	Kinetics and Mechanism of Redox Processes of Pt/C and Pt ₃ Co/C Cathode Electrocatalysts in a Polymer Electrolyte Fuel Cell during an Accelerated Durability Test
			2013B7820	BL36XU	唯 美津木	
			2013B7821	BL36XU	唯 美津木	
			2014A7820	BL36XU	唯 美津木	
32581	Yoshiki Shimata	120 (2016) 17887-17897	2014B1915	BL46XU	尾坂 格	Charge Dynamics at Heterojunction between Face-on/Edge-on PCPDTBT and PCBM Bilayer: Interplay of Donor/Acceptor Distance and Local Charge Carrier Mobility
			2015A1952	BL46XU	尾坂 格	

Journal of the American Chemical Society

32216	Hefeng Cheng	138 (2016) 9316-9324	2015A1149	BL01B1	森 浩亮	Hydrogen Doped Metal Oxide Semiconductors with Exceptional and Tunable Localized Surface Plasmon Resonances
			2015B1083	BL01B1	森 浩亮	
32344	Takaaki Ikuno	137 (2015) 14533-14544	2013B1293	BL04B2	脇原 徹	Structure-Directing Behaviors of Tetraethylammonium Cations toward Zeolite Beta Revealed by the Evolution of Aluminosilicate Species Formed during the Crystallization Process
			2014A1174	BL04B2	小原 真司	
			2014A1893	BL04B2	小原 真司	
			2014B1144	BL04B2	小原 真司	
			2014B2035	BL04B2	小原 真司	
32346	Shinji Kanegawa	138 (2016) 14170-14173	2014B1471	BL02B1	佐藤 治	Directional Electron Transfer in Crystals of [CrCo] Dinuclear Complexes Achieved by Chirality-Assisted Preparative Method
			2015B1548	BL02B1	姜 舜徽	
32555	Kyle Sutherland	138 (2016) 14294-14302	2013B0105	BL09XU	Solomon Edward	Nuclear Resonance Vibrational Spectroscopic Definition of Peroxy Intermediates in Nonheme Iron Sites
32564	Ryan Gilbert-Wilson	137 (2015) 8998-9005	2014B1032	BL09XU	Wang Hongxin	Spectroscopic Investigations of [FeFe] Hydrogenase Maturated with [⁵⁷ Fe ₂ (adt)(CN) ₂ (CO) ₄] ²⁻
			2015B1134	BL09XU	Wang Hongxin	
32653	Victor Malgras	138 (2016) 13874-13881	2016A1063	BL04B2	富中 悟史	Observation of Quantum Confinement in Monodisperse Methylammonium Lead Halide Perovskite Nanocrystals Embedded in Mesoporous Silica
			2014A1419	BL13XU	大坪 主弥	
32696	Tomoyuki Haraguchi	138 (2016) 16787-16793	2014B1443	BL13XU	北川 宏	Guest-Induced Two-Way Structural Transformation in a Layered Metal–Organic Framework Thin Film
			2015A1489	BL13XU	北川 宏	
			2015B1537	BL13XU	北川 宏	
			2016A1421	BL13XU	北川 宏	

Inorganic Chemistry

32328	Zhao Pan	55 (2016) 9513-9516	2015B1127	BL44B2	Lin Kun	Giant Polarization and High Temperature Monoclinic Phase in a Lead-Free Perovskite of Bi(Zn _{0.5} Ti _{0.5})O ₃ -BiFeO ₃
			2016A1060	BL44B2	Xing Xianran	
32386	Atsunobu Masuno	54 (2015) 9432-9437	2013B1136	BL02B2	増野 敦信	Expansion of the Hexagonal Phase-Forming Region of Lu _{1-x} Sc _x FeO ₃ by Containerless Processing
			2008B1040	BL02B2	増野 敦信	
			2010A1220	BL02B2	増野 敦信	
32503	Takafumi Yamamoto	55 (2016) 12093-12099	2011B1231	BL02B2	陰山 洋	Impact of Lanthanoid Substitution on the Structural and Physical Properties of an Infinite-Layer Iron Oxide
			2011B1461	BL04B2	Tassel Cedric	
			2013A1230	BL02B2	陰山 洋	
32602	Alexei Belik	55 (2016) 12348-12356	2007A2087	BL02B2	Belik Alexei	Solid Solutions between BiMnO ₃ and BiCrO ₃
			2009A1136	BL02B2	Belik Alexei	
32614	Peng Xiong	55 (2016) 6218-6222	2016A1650	BL02B2	熊 鵬	Geometrical Spin Frustration of Unusually High Valence Fe ⁵⁺ in the Double Perovskite La ₂ LiFeO ₆
			2014B1078	BL02B2	齊藤 高志	
			2015A1014	BL39XU	島川 祐一	
32615	Mikihiro Hayashi	55 (2016) 13027-13034	2011B4907	BL15XU	大坪 主弥	An Electrically Conductive Single-Component Donor–Acceptor–Donor Aggregate with Hydrogen-Bonding Lattice
			2012B1558	BL02B1	大坪 主弥	
			2014B1440	BL02B1	北川 宏	
			2014A1406	BL02B1	北川 宏	
			2015A1523	BL02B1	北川 宏	
2015A1535	BL02B2	大坪 主弥				

ACS Catalysis-1

32150	Xiaoming Wang	6 (2016) 4195-4198	2014A1021	BL14B2	内本 喜晴	Platinum-Based Electrocatalysts for the Oxygen-Reduction Reaction: Determining the Role of Pure Electronic Charge Transfer in Electrocatalysis
			2014B1834	BL14B2	内本 喜晴	
			2015A1609	BL01B1	内本 喜晴	

ACS Catalysis-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
32188	Nobuhiko Oota	6 (2016) 3213-3226	2014B1248	BL01B1	奥村 和	Performance, Structure, and Mechanism of ReO _x -Pd/CeO ₂ Catalyst for Simultaneous Removal of Vicinal OH Groups with H ₂
32189	Masazumi Tamura	6 (2016) 376-380	2014B1248	BL01B1	奥村 和	Cu Sub-Nanoparticles on Cu/CeO ₂ as an Effective Catalyst for Methanol Synthesis from Organic Carbonate by Hydrogenation
32190	Yasuyuki Takeda	5 (2015) 7034-7047	2014B1248	BL01B1	奥村 和	Characterization of Re-Pd/SiO ₂ Catalysts for Hydrogenation of Stearic Acid
32212	Kohsuke Mori	6 (2016) 3128-3135	2014B1041	BL01B1	森 浩亮	Ru and Ru-Ni Nanoparticles on TiO ₂ Support as Extremely Active Catalysts for Hydrogen Production from Ammonia-Borane
			2015A1149	BL01B1	森 浩亮	

Acta Crystallographica Section F

32290	Mahfuza Akter	72 (2016) 788-794	2011B1060	BL38B1	柴田 直樹	Biochemical, Spectroscopic and X-ray Structural Analysis of Deuterated Multicopper Oxidase CueO Prepared from a New Expression Construct for Neutron Crystallography
			2014A1035	BL38B1	柴田 直樹	
32508	Meirong Chen	72 (2016) 569-572	2014B1033	BL41XU	姚 閔	Crystallographic Analysis of a Subcomplex of the Transsulfurase with tRNA for Cys-tRNA ^{Cys} Synthesis
			2015B1024	BL41XU	姚 閔	
32509	Meirong Chen	72 (2016) 777-781	2014B1033	BL41XU	姚 閔	Crystallographic Study of the 2-thioribothymidine-Synthetic Complex TtuA-TtuB from <i>Thermus thermophilus</i>
32545	Shunnya Sakurai	71 (2015) 1048-1054	2015A1043	BL41XU	大戸 梅治	Structure of Human Roquin-2 and its Complex with Constitutive-Decay Element RNA

Japanese Journal of Applied Physics

32223	Shinobu Aoyagi	55 (2016) 10TC05	2013A0100	BL02B1	青柳 忍	Time-Resolved Crystal Structure Analysis of Resonantly Vibrating Langasite Oscillator
32229	Kanao Shojiki	55 (2016) 05FA09	2014B1725	BL13XU	正直 花奈子	Homogeneity Improvement of N-polar (000 $\bar{1}$) InGaN/GaN Multiple Quantum Wells by Using c-plane Sapphire Substrate with Off-Cut-Angle toward a-Sapphire Plane
			2015A1820	BL13XU	正直 花奈子	
32275	Tomoaki Yamada	55 (2016) 10TA20	2014B1570	BL13XU	山田 智明	Fabrication and Characterization of (111)-epitaxial Pb(Zr _{0.35} Ti _{0.65})O ₃ /Pb(Zr _{0.65} Ti _{0.35})O ₃ Artificial Superlattice Thin Films
			2015A4904	BL15XU	山田 智明	
32561	Yoshitaka Yoda	55 (2016) 122401	2013B1928	BL09XU	依田 芳卓	High-resolution Monochromator for Iron Nuclear Resonance Vibrational Spectroscopy of Biological Samples
			2014A1887	BL09XU	依田 芳卓	
			2011A2061	BL09XU	依田 芳卓	

Journal of Applied Physics

32180	Takio Kizu	120 (2016) 045702	2015A1884	BL04B2	塚越 一仁	Homogeneous Double-Layer Amorphous Si-doped Indium Oxide Thin-Film Transistors for Control of Turn-on Voltage
			2015A1885	BL01B1	塚越 一仁	
32250	Motohiro Suzuki	120 (2016) 144503	2011B1887	BL39XU	近藤 祐治	Direct Measurement of Single-Dot Coercivity and Statistical Analysis of Switching Field Distribution in Bit-Patterned Media using Scanning Hard-X-ray Nanoprobe
			2011B2098	BL44XU	鈴木 基寛	
			2012B1328	BL44XU	鈴木 基寛	
32274	Kei Kubobuchi	120 (2016) 142125	2012A5392	BL16B2	今井 英人	A Valence State Evaluation of a Positive Electrode Material in an Li-Ion Battery with First-Principles K- and L-edge XANES Spectral Simulations and Resonance Photoelectron Spectroscopy
			2012A5090	BL16XU	今井 英人	
			2012B5392	BL16B2	今井 英人	
			2013A5091	BL16XU	久保測 啓	
			2013A5392	BL16B2	今井 英人	
			2013B5090	BL16XU	今井 英人	
			2013B5391	BL16XU	今井 英人	
			2013B5392	BL16B2	久保測 啓	
			2014A5091	BL16XU	久保測 啓	
			2014A5392	BL16B2	今井 英人	
32492	Hidetoshi Miyazaki	120 (2016) 125106	2014B1537	BL27SU	宮崎 秀俊	Effect of Ta Substitution on the Electronic Structure of Heusler-Type Fe ₂ VAl-Based Alloy
			2014A1485	BL27SU	宮崎 秀俊	

Journal of Solid State Chemistry

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
32495	Nobuhiro Kumada	245 (2017) 30-33	2014B1003	BL02B2	熊田 伸弘	Hydrothermal Synthesis and Crystal Structure of a New Lithium Copper Bismuth Oxide, LiCuBiO ₄
32603	Alexei Belik	246 (2017) 8-15	2009A1136	BL02B2	Belik Alexei	Structural, Magnetic, and Dielectric Properties of Solid Solutions between BiMnO ₃ and YMnO ₃
32644	Haichuan Guo	246 (2017) 199-202	2015B1757	BL02B2	郭 海川	2:1 Charge Disproportionation in Perovskite-Structure Oxide La _{1/3} Ca _{2/3} FeO ₃ with Unusually-High-Valence Fe ^{3.67+}
32703	Yuki Inoue	246 (2017) 334-340	2014A1408	BL02B2	菅野 了次	Synthesis and Structure of Novel Lithium-Ion Conductor Li ₇ Ge ₃ PS ₁₂
			2016B1778	BL19B2	大工原 秀吾	

Nature

32544	Umeharu Ohto	520 (2015) 702-705	2014B1421	BL41XU	大戸 梅治	Structural Basis of CpG and Inhibitory DNA Recognition by Toll-like Receptor 9
			2013A1076	BL41XU	大戸 梅治	
			2013B1106	BL41XU	大戸 梅治	
			2014A1123	BL41XU	大戸 梅治	
32550	Umeharu Ohto	534 (2016) 566-569	2015A1043	BL41XU	大戸 梅治	Structure of IZUMO1-JUNO Reveals Sperm-oocyte Recognition during Mammalian Fertilization
32690	Daishi Fujita	540 (2016) 563-566	2011B0039	BL38B1	藤田 誠	Self-Assembly of Tetravalent Goldberg Polyhedra from 144 Small Components
			2015A0120	BL41XU	藤田 誠	
32397	Noriyoshi Tsujino	539 (2016) 81-84	2012B1437	BL04B1	辻野 典秀	Mantle Dynamics Inferred from the Crystallographic Preferred Orientation of Bridgmanite
			2013B1434	BL04B1	辻野 典秀	
			2014A1431	BL04B1	辻野 典秀	
			2014B1400	BL04B1	辻野 典秀	
			2015A1600	BL04B1	辻野 典秀	
			2015B1504	BL04B1	辻野 典秀	

Physical Review B

32157	Yoshiteru Hosaka	94 (2016) 104429	2015B1718	BL02B2	保坂 祥輝	Charge and Spin Order in the Perovskite CaFe _{0.5} Mn _{0.5} O ₃ : Charge Disproportionation Behavior of Randomly Arranged Fe ⁴⁺
32434	Ryu Yukawa	94 (2016) 165313	2012B7401	BL07LSU	山本 達	Phonon-Dressed Two-Dimensional Carriers on the ZnO Surface
			2013A7401	BL07LSU	山本 達	
			2013B7401	BL07LSU	山本 達	
32435	Yui Ishii	94 (2016) 184106	2016A1349	BL02B2	河口 彰吾	Emergence of a Fluctuating State in the Stuffed Tridymite-Type Oxides Ba _{1-x} Sr _x Al ₂ O ₄
32677	Daisuke Kan	94 (2016) 214420	2015B1008	BL25SU	島川 祐一	Orbital Magnetic Moments in SrRuO ₃ Epitaxial Thin Films with Interfacially Controlled Magnetic Anisotropy

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

32237	Jules Dake	113 (2016) E5998-E6006	2012A1427	BL20XU	Krill Carl	Direct Observation of Grain Rotations during Coarsening of a Semisolid Al-Cu Alloy
			2013A1506	BL20XU	Krill Carl	
32283	Junping Fan	111 (2014) 7636-7640	2013B1448	BL38B1	Zhang Cai	Crystal Structure of Lipid Phosphatase <i>Escherichia coli</i> Phosphatidylglycerophosphate Phosphatase B
32411	Takanori Nakane	113 (2016) 13039-13044	2013B8045	BL3	岩田 想	Membrane Protein Structure Determination by SAD, SIR, or SIRAS Phasing in Serial Femtosecond Crystallography using an Iododetergent
			2014A8031	BL3	島村 達郎	
			2015B8042	BL3	岩田 想	
			2015B8047	BL3	溝端 栄一	
			2016A8041	BL3	岩田 想	
32551	Hiromi Tanji	113 (2016) 3012-3017	2013B1106	BL41XU	大戸 梅治	Autoinhibition and Relief Mechanism by the Proteolytic Processing of Toll-like Receptor 8
			2014A1123	BL41XU	大戸 梅治	
			2014B1421	BL41XU	大戸 梅治	
			2015A1043	BL41XU	大戸 梅治	

AIP Conference Proceedings-1

32246	Yujiro Hayashi	1741 (2016) 050024	2014B7002	BL33XU	林 雄二郎	Scanning Three-Dimensional X-ray Diffraction Microscopy Using a High-Energy Microbeam
			2015A7002	BL33XU	林 雄二郎	
32617	Akihisa Takeuchi	1365 (2011) 301-304	2010A1376	BL20XU	竹内 晃久	Present Status of the Nanotomography System at BL47XU at Spring-8 and Its Efficiency Improvement Using Double-Condenser Optics
			2008B1587	BL47XU	竹内 晃久	

AIP Conference Proceedings-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
32713	Chihiro Yogi	1763 (2016) 050006	2014B1608	BL46XU	今井 英人	<i>Operando</i> X-ray Diffraction Analysis for a Glyme-Based Li-O ₂ Battery
			2014B1905	BL46XU	今井 英人	
			2015A1688	BL19B2	今井 英人	
			2015B1601	BL19B2	今井 英人	

Applied Physics Letters

32252	Masashi Ohmori	109 (2016) 153302	2015B1904	BL46XU	尾坂 格	Crystal Structure Analysis in Solution-Processed Uniaxially Oriented Polycrystalline Thin Film of Non-Peripheral Octahexyl Phthalocyanine by Grazing Incidence Wide-Angle X-ray Scattering Techniques
			2016A1776	BL46XU	大森 雅志	
32458	Keita Kataoka	109 (2016) 203902	2014A1312	BL47XU	片岡 恵太	Band Slope in CdS Layer of ZnO:Ga/CdS/Cu ₂ ZnSnS ₄ Photovoltaic Cells Revealed by Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy
32673	Fang Hong	109 (2016) 241904	2014B1254	BL10XU	Yue Binbin	Pressure-Induced Isostructural Transition in a Distorted Perovskite via Octahedron Reconfiguration

Biochemical and Biophysical Research Communications

32177	Hideshi Yokoyama	422 (2012) 745-750	2011A1893	BL26B1	横山 英志	Crystal Structure of <i>Helicobacter pylori</i> Neutrophil-Activating Protein with a Di-Nuclear Ferroxidase Center in a Zinc or Cadmium-Bound Form
32221	Koji Yamamoto	474 (2016) 104-110	2014A6961	BL44XU	山本 幸治	Structural Characterization of an Aldo-Keto Reductase (AKR2E5) from the Silkworm <i>Bombyx mori</i>
			2015A6555	BL44XU	山本 幸治	
			2014B6961	BL44XU	山本 幸治	
32368	Kazuki Kawahara	480 (2016) 261-267	2014A1344	BL38B1	中村 昇太	Crystal Structure of the ADP-ribosylating Component of BEC, the Binary Enterotoxin of <i>Clostridium perfringens</i>
			2014B1234	BL26B1	中村 昇太	

Catalysis Today

32169	Yuji Mahara	265 (2016) 2-6	2014B1508	BL01B1	大山 順也	Ag-M (M: Ni, Co, Cu, Fe) Bimetal Catalysts Prepared by Galvanic Deposition Method for CO Oxidation
			2015B1482	BL01B1	大山 順也	
32214	Ai Nozaki	265 (2016) 138-143	2014A1045	BL01B1	森 浩亮	Hydrogenation of 1-octene over Skeletal Pd Catalysts Prepared from Pd-Zr Amorphous Alloys and the Effect of Ni Addition
			2014B1041	BL01B1	森 浩亮	
32562	Shogo Shirakawa	281 (2017) 429-436	2014A7001	BL33XU	長井 康貴	XAFS Study on Promoting Effect of Au <i>via</i> NiO Reduction in Au-Ni Bimetallic Clusters
			2014B7001	BL33XU	長井 康貴	
			2015A7001	BL33XU	高木 秀樹	
			2015B7001	BL33XU	高木 秀樹	

ECS Transactions

32289	Yoshiyuki Yamashita	75 (2016) 207-211	2013B4600	BL15XU	山下 良之	Direct Observation of Energy Distribution of Interface States at SiO ₂ /4H-SiC Interface
32322	Yi-Tao Cui	72 (2016) 131-136	2014A1774	BL46XU	陰地 宏	Electronic Structure of Pt and Pt-Co Nanoparticles with O ₂ and O ₂ /H ₂ O Adsorption Revealed by <i>In Situ</i> XAFS and Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy
			2014B1657	BL14B2	原田 慈久	
			2014B3517	BL11XU	原田 慈久	
			2015A1554	BL47XU	崔 藝濤	
			2015A1681	BL46XU	崔 藝濤	
			2015A1691	BL14B2	原田 慈久	
			2015A3517	BL11XU	原田 慈久	
			2015B3513	BL11XU	原田 慈久	
32712	Chihiro Yogi	69 (2015) 1-10	2014B1608	BL46XU	今井 英人	Reaction Mechanism Analysis of a Li-O ₂ Battery: Structure of Electrode/Electrolyte Interface Probed Via Soft-X-Ray Absorption Spectroscopy, Hard X-Ray Photoelectron Spectroscopy, and <i>in-Situ</i> Hard X-Ray Diffraction
			2014B1905	BL46XU	今井 英人	
			2015A1686	BL46XU	今井 英人	
			2015A1688	BL19B2	今井 英人	
			2015B1599	BL46XU	今井 英人	

Electrochemistry

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
32148	Yuki Orikasa	84 (2016) 524-528	2013A1007	BL08W	内本 喜晴	硬X線分光を用いたリチウムイオン電池の <i>Operando</i> 解析
			2013B1019	BL08W	内本 喜晴	
			2013B1024	BL37XU	内本 喜晴	
			2014A1012	BL08W	内本 喜晴	
			2014B1023	BL08W	内本 喜晴	
			2014B1024	BL37XU	内本 喜晴	
			2015A1010	BL08W	内本 喜晴	
			2015A1011	BL37XU	内本 喜晴	
			2015B1010	BL08W	内本 喜晴	
			2015B1012	BL37XU	内本 喜晴	
			2014B1816	BL01B1	折笠 有基	
2015A1521	BL37XU	折笠 有基				
2015A1882	BL01B1	折笠 有基				
32255	Yoshifumi Mizuno	83 (2015) 820-823	2013B1697	BL02B2	八巻 健介	Synthesis, Crystal Structure, and Electrochemical Properties of $\text{Li}_{1.2+x}\text{Mn}_{0.3}\text{Co}_{0.2}\text{Ni}_{0.3}\text{O}_2$ ($x > 0$) for Lithium-Ion Battery Cathodes
32413	Ryo Oike	84 (2016) 793-796	2014B1396	BL27SU	雨澤 浩史	In-Situ Simultaneous Soft X-ray Absorption and Emission Spectroscopy under Controlled Atmosphere and Temperature
			2014A1452	BL27SU	雨澤 浩史	
			理研	BL17SU		

Journal of Molecular Biology

32437	Sella Kim	428 (2016) 5007-5018	2016A2506	BL38B1	Kim KyungHyun	Structural Basis of Novel Iron-Uptake Route and Reaction Intermediates in Ferritins from Gram-Negative Bacteria
32455	Kohei Miwa	428 (2016) 4258-4266	2016A2521	BL26B1	帯田 孝之	Crystal Structure of Human General Transcription Factor TFIIE at Atomic Resolution
			2015A1038	BL26B1	帯田 孝之	
32689	Tsuyoshi Konuma	427 (2015) 3158-3165	2007B1180	BL45XU	高橋 聡	Highly Collapsed Conformation of the Initial Folding Intermediates of β -Lactoglobulin with Non-Native α -Helix

Langmuir

32163	Toshihiko Oka	32 (2016) 7613-7620	2015A1295	BL40B2	岡 俊彦	Two Distinct Cylinder Arrangements in Monodomains of a Lyotropic Liquid Crystalline Hexagonal II Phase: Monodomains with Straight Cylinders and Ringed Cylinders in Capillaries
			2015B1351	BL40B2	岡 俊彦	
			2015B1530	BL40XU	岡 俊彦	
32172	Yasuharu Nakagawa	32 (2016) 6806-6814	2014B1366	BL40B2	中川 泰治	Effect of Solvent Dielectric Constant on the Formation of Large Flat Bilayer Stacks in a Lecithin/Hexadecanol Hydrogel
			2015A1190	BL40B2	中川 泰治	
			2015A1406	BL40B2	中沢 寛光	
32324	Takahiro Takei	32 (2016) 9993-9999	2013A1299	BL02B2	武井 貴弘	Adsorption Behavior of Rare Earth Metal Cations in the Interlayer Space of γ -ZrP
			2014A1008	BL02B2	熊田 伸弘	

Nature Communications

32549	Sakiko Maekawa	7 (2016) 11813	2014A1123	BL41XU	大戸 梅治	Crystal Structure of NOD2 and its Implications in Human Disease
			2014B1421	BL41XU	大戸 梅治	
			2015A1043	BL41XU	大戸 梅治	
32566	Hideaki Ogata	6 (2015) 7890	2010B0032	BL09XU	Cramer Stephen	Hydride Bridge in [NiFe]-hydrogenase Observed by Nuclear Resonance Vibrational Spectroscopy
			2013B0103	BL09XU	Cramer Stephen	
			2014B1032	BL09XU	Wang Hongxin	
32587	Ryo Nozawa	7 (2016) 13620	2015B1397	BL38B1	久木 一朗	Stacked Antiaromatic Porphyrins
			2016A1121	BL38B1	久木 一朗	

Physics of the Earth and Planetary Interiors-1

32387	Zhaodong Liu	257 (2016) 18-27	2010A0082	BL04B1	入船 徹男	Phase Relations in the System $\text{MgSiO}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ up to 52 GPa and 2000 K
32406	Takaaki Kawazoe	216 (2013) 91-98	2010A0082	BL04B1	入船 徹男	Seismic Anisotropy in the Mantle Transition Zone Induced by Shear Deformation of Wadsleyite

Physics of the Earth and Planetary Interiors-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
32613	Tomoo Katsura	183 (2010) 212-218	1997B0099	BL04B1	桂 智男	Adiabatic Temperature Profile in the Mantle
			1998A0036	BL04B1	松井 正典	
			1998A0163	BL04B1	桂 智男	
			1998A0233	BL04B1	Walter Michael	
			1999A0293	BL04B1	桂 智男	
			1999B0276	BL04B1	桂 智男	
			2000A0373	BL04B1	桂 智男	
			2001A0289	BL04B1	桂 智男	
			2001B0188	BL04B1	桂 智男	
			2002B0044	BL04B1	桂 智男	
			2003B0640	BL04B1	桂 智男	
			2004A0368	BL04B1	桂 智男	
			2004B0497	BL04B1	桂 智男	
			2004B0498	BL04B1	桂 智男	
			2005A0318	BL04B1	桂 智男	
			2005B0241	BL04B1	桂 智男	
2006A1755	BL04B1	桂 智男				
2006B1340	BL04B1	桂 智男				
2007A1499	BL04B1	桂 智男				
2007B1579	BL04B1	桂 智男				

Polymer

32167	Kazuhiro Shikinaka	99 (2016) 767-770	2015B1251	BL45XU	敷中 一洋	Solution Structure of Cyanobacterial Polysaccharide, Sacran
32296	Mitsunori Asada	105 (2016) 172-179	2011B7257	BL03XU	浅田 光則	Effect of Miscible PMMA Chain Length on Disordered Morphologies in Epoxy/PMMA- <i>b</i> -PnBA- <i>b</i> -PMMA Blends by <i>in situ</i> Simultaneous SAXS/DSC
32442	Yuya Shinohara	105 (2016) 368-377	2011A1779	BL27SU	篠原 佑也	Distribution of Sulfur in Styrene-Butadiene Rubber Studied with Anomalous Small-Angle X-ray Scattering at Sulfur K-edge
			2011B1128	BL27SU	篠原 佑也	
			2012B1102	BL27SU	篠原 佑也	
			2013B7259	BL03XU	篠原 佑也	
			2013B1058	BL27SU	篠原 佑也	

RSC Advances

32168	Kazuhiro Shikinaka	6 (2016) 52950-52956	2012B1140	BL45XU	敷中 一洋	Kinetics-Dominated Structure and Stimuli-Responsiveness in the Assembly of Colloidal Nanotubes
			2014B1084	BL04B1	敷中 一洋	
32471	Minoru Ashizawa	6 (2016) 109434-109441	2015B1105	BL45XU	松本 英俊	Influence of Structure–Property Relationships of Two Structural Isomers of Thiophene-Flanked Diazaisoindigo on Carrier-Transport Properties
			2015B1690	BL45XU	長谷川 司	
32638	Yuko Ikeda	6 (2016) 95601-95610	2015A1872	BL40XU	池田 裕子	Strain-Induced Crystallization Behaviour of Natural Rubbers from Guayule and Rubber Dandelion Revealed by Simultaneous Time-Resolved WAXD/Tensile Measurements: Indispensable Function for Sustainable Resources
			2015B1814	BL40XU	池田 裕子	

AIP Advances

32616	Norihiro Okamoto	6 (2016) 125008	2014B1553	BL02B1	乾 晴行	Atomic Displacement in the CrMnFeCoNi High-Entropy Alloy – A Scaling Factor to Predict Solid Solution Strengthening
			2014B1228	BL02B1	乾 晴行	
			2015A1468	BL02B1	乾 晴行	
			2016B1096	BL02B1	岡本 範彦	
32698	Kaoru Nakamura	6 (2016) 115003	2007B1915	BL19B2	伊藤 孝憲	Theoretical and Experimental Investigation of Defect Formation / Migration in Gd ₂ Ti ₂ O ₇ : General Rule of Oxide-Ion Migration in A ₂ B ₂ O ₇ Pyrochlore

Applied Catalysis A: General

32152	Tomohiro Majima	523 (2016) 92-96	2015B1848	BL14B2	関根 泰	Pre-Reduction and K Loading Effects on Noble Metal Free Co-System Catalyst for Water Gas Shift Reaction
32218	Miriam Navlani-García	527 (2016) 45-52	2015A1149	BL01B1	森 浩亮	Highly Efficient Ru/Carbon Catalysts Prepared by Pyrolysis of Supported Ru Complex towards the Hydrogen Production from Ammonia Borane

Applied Physics Express

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
32145	Mikito Nozaki	9 (2016) 105801	2015A3872	BL23SU	渡部 平司	Synchrotron Radiation X-ray Photoelectron Spectroscopy of Ti/Al Ohmic Contacts to n-type GaN: Key Role of Al Capping Layers in Interface Scavenging Reactions
			2015B3801	BL23SU	吉越 章隆	
			2015B3872	BL23SU	渡部 平司	
32245	Shohei Kamada	9 (2016) 111001	2015B1222	BL13XU	竹内 正太郎	Microstructural Analysis of an Epitaxial AlN Thick Film/Trench-Patterned Template by Three-Dimensional Reciprocal Lattice Space Mapping Technique
			2010B1721	BL13XU	酒井 朗	

Biochemistry

32179	Hideshi Yokoyama	51 (2012) 3872-3880	2011A1893	BL26B1	横山 英志	Crystal Structure of a Membrane Stomatin-Specific Protease in Complex with a Substrate Peptide
32619	Leland Gee	54 (2015) 3314-3319	2009A0015	BL09XU	Cramer Stephen	Docking and Migration of Carbon Monoxide in Nitrogenase: The Case for Gated Pockets from Infrared Spectroscopy and Molecular Dynamics
			2013B0103	BL09XU	Cramer Stephen	

Catalysis Science & Technology

32187	Yasuyuki Takeda	6 (2016) 5668-5683	2014B1248	BL01B1	奥村 和	Hydrogenation of Dicarboxylic Acids to Diols over Re-Pd Catalysts
32538	Mahiro Shirotori	6 (2016) 8200-8211	2015A1389	BL01B1	穴戸 哲也	Genesis of a Bi-Functional Acid-Base Site on a Cr-supported Layered Double Hydroxide Catalyst Surface for One-Pot Synthesis of Furfurals from Xylose with a Solid Acid Catalyst
			2014B1472	BL01B1	西村 俊	

Crystal Growth & Design

32279	Sekai Iwama	15 (2015) 3052-3062	2013B1160	BL02B2	津江 広人	Case Study on the Interpretation of Crystal Structures Inducing Preferential Enrichment Based on the Graph Set Analysis of Hydrogen Bond Motifs
32343	Hiroki Yamada	16 (2016) 3389-3394	2013B1293	BL04B2	脇原 徹	Downsizing AFX Zeolite Crystals to Nanoscale by a Postmilling Recrystallization Method
			2015A0115	BL04B2	脇原 徹	

Earth and Planetary Science Letters

32298	Takaaki Kawazoe	454 (2016) 10-19	2015A0075	BL04B1	入船 徹男	Creep Strength of Ringwoodite Measured at Pressure-Temperature Conditions of the Lower Part of the Mantle Transition Zone using Deformation-DIA Apparatus
32375	Haruka Ozawa	456 (2016) 47-54	2009A0087	BL10XU	廣瀬 敬	High-Pressure Melting Experiments on Fe-Si Alloys and Implications for Silicon as a Light Element in the Core

The FEBS Journal

32207	Narutoshi Uda	282 (2015) 3929-3944	2010B1303	BL41XU	杉山 政則	The Structural and Mutational Analyses of O-ureido-L-serine Synthase Necessary for D-cycloserine Biosynthesis
32261	Shouhei Mine	281 (2014) 5092-5103	2014A6953	BL44XU	峯 昇平	The Structure of Hyperthermophilic β -N-acetylglucosaminidase Reveals a Novel Dimer Architecture Associated with the Active Site
			2012B1098	BL38B1	中村 努	

FEBS Letters

32247	Yoshinori Hagiwara	590 (2016) 3425-3434	2008B1079	BL38B1	福山 恵一	Atomic-Resolution Structure of the Phycocyanobilin:Ferredoxin Oxidoreductase I86D Mutant in Complex with Fully Protonated Biliverdin
			2009B1219	BL38B1	和田 啓	
			2009B2095	BL38B1	杉島 正一	
			2009B6933	BL44XU	福山 恵一	
			2010A1181	BL41XU	和田 啓	
			2014A1040	BL38B1	杉島 正一	
			2015A6557	BL44XU	和田 啓	
			2015B6557	BL44XU	和田 啓	
32291	Seiji Negoro	590 (2016) 3133-3143	2016A6622	BL44XU	杉島 正一	Mutations Affecting the Internal Equilibrium of the Reaction Catalyzed by 6-aminohexanoate-dimer Hydrolase
			2016A6655	BL44XU	和田 啓	
			2011A6621	BL44XU	柴田 直樹	
			2011B6621	BL44XU	柴田 直樹	
			2012A6721	BL44XU	柴田 直樹	
			2012B6721	BL44XU	柴田 直樹	
			2014A1035	BL38B1	柴田 直樹	
2014A6925	BL44XU	柴田 直樹				
2014B6925	BL44XU	柴田 直樹				

High Pressure Research

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
32158	Naoki Ishimatsu	36 (2016) 381-390	2012A1843	BL39XU	河村 直己	Applications of Nano-polycrystalline Diamond Anvils to X-ray Absorption Spectroscopy under High Pressure
			2012B1355	BL39XU	石松 直樹	
			2012B1976	BL39XU	河村 直己	
			2013A1460	BL39XU	石松 直樹	
			2013B1284	BL39XU	石松 直樹	
			2013B1922	BL39XU	河村 直己	
			2014B1453	BL39XU	石松 直樹	
			2014B2041	BL39XU	河村 直己	
32329	Kazuyuki Matsubayashi	36 (2016) 419-428	2015A2045	BL39XU	河村 直己	Pressure-Induced Valence Change toward the QCP in 4f-electron Compounds Determined by X-ray Absorption Spectroscopy
			2012B0046	BL39XU	渡辺 真仁	
			2011B2097	BL39XU	河村 直己	
			2011B2094	BL39XU	河村 直己	
			2011B2092	BL39XU	水牧 仁一朗	
			2012A1283	BL39XU	松林 和幸	
			2012A1843	BL39XU	河村 直己	
			2012B1976	BL39XU	河村 直己	
2012B1978	BL39XU	水牧 仁一朗				
2012B0046	BL39XU	渡辺 真仁				

Industrial & Engineering Chemistry Research

32215	Miriam Navlani-Garcia	55 (2016) 7612-7620	2015A1149	BL01B1	森 浩亮	Screening of Carbon-Supported PdAg Nanoparticles in the Hydrogen Production from Formic Acid
			2015B1083	BL01B1	森 浩亮	
32441	Hidenori Kuroki	55 (2016) 11458-11466	2013A5392	BL16B2	今井 英人	Platinum-Iron-Nickel Trimetallic Catalyst with Superlattice Structure for Enhanced Oxygen Reduction Activity and Durability
			2013B5391	BL16B2	今井 英人	
			2014A5391	BL16B2	今井 英人	
			2014B5390	BL16B2	今井 英人	
			2014B5391	BL16B2	今井 英人	

Journal of Alloys and Compounds

32202	Nobufumi Miyazaki	691 (2017) 914-918	2014B1237	BL02B2	戸高 義一	Thermoelectric Property of Bulk CaMgSi Intermetallic Compound
32436	Shinya Hosokawa	695 (2017) 426-432	2014B1159	BL35XU	細川 伸也	Impurity Effects in the Microscopic Elastic Properties of Polycrystalline Mg-Zn-Y Alloys with a Synchronized Long-Period Stacking Ordered Phase
			2015A1221	BL35XU	細川 伸也	
			2015B1322	BL35XU	木村 耕治	

Journal of Applied Crystallography

32161	Hiroshi Okuda	49 (2016) 1803-1805	2015B1438	BL27SU	奥田 浩司	Realization of Two-Dimensional Anomalous Small-Angle Scattering of Al Alloys at the K Absorption Edge of Al
32282	Yu-Hsin Wu	49 (2016) 1653-1658	2016A4253	BL12XU	Chang Shih Lin	Theoretical Considerations in the Construction of Hard X-ray Resonators at Inclined Incidence with Ultra-High Efficiency and Resolution

Journal of Geophysical Research

32494	Minako Kurisu	121 (2016) 11119-11136	2014A1416	BL37XU	高橋 嘉夫	Very Low Isotope Ratio of Iron in Fine Aerosols Related to Its Contribution to the Surface Ocean
			2015A0118	BL37XU	高橋 嘉夫	
32627	Yuta Shimoyama	121 (2016) 7984-7995	2013A3782	BL22XU	寺崎 英紀	Thermoelastic Properties of Liquid Fe-C Revealed by Sound Velocity and Density Measurements at High Pressure
			2013B3786	BL22XU	寺崎 英紀	
			2014A3787	BL22XU	寺崎 英紀	
			2014B3785	BL22XU	寺崎 英紀	
			2015A3787	BL22XU	寺崎 英紀	

Journal of Nanoscience and Nanotechnology

32419	Maidhily Manikandan	16 (2016) 8269-8278	2013A4600	BL15XU	阿部 英樹	Pt Decorated Free-Standing TiO ₂ Nanotube Arrays: Highly Active and Durable Electrocatalyst for Oxygen Reduction and Methanol Oxidation Reactions
			2013B4602	BL15XU	阿部 英樹	
32634	Saulius Juodkazis	11 (2011) 2931-2936	2008A1965	BL04B2	小原 真司	Structural Characterization of Femtosecond Laser Modified Regions Inside Sapphire
			2009A1064	BL10XU	小原 真司	
			理研	BL19LXU		

Journal of Physics: Conference Series

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
32256	Akira Yamada	683 (2016) 012020	2014B1139	BL01B1	東中 隆二	Mixed Valence States in $(\text{Sm}_x\text{La}_{1-x})\text{Tr}_2\text{Al}_{20}$ ($\text{Tr} = \text{Ti}$ and Ta) Studied using X-ray Absorption Spectroscopy
32421	Okii Sekizawa	712 (2016) 012142	2013A7801	BL36XU	岩澤 康裕	SPRING-8 BL36XU: Catalytic Reaction Dynamics for Fuel Cells
			2013A7803	BL36XU	岩澤 康裕	
			2013A7810	BL36XU	横山 利彦	
			2013A7820	BL36XU	唯 美津木	
			2013B7803	BL36XU	岩澤 康裕	
			2013B7806	BL36XU	岩澤 康裕	
			2013B7810	BL36XU	横山 利彦	
			2013B7820	BL36XU	唯 美津木	
			2013B7822	BL36XU	唯 美津木	
			2014A7801	BL36XU	岩澤 康裕	
			2014A7802	BL36XU	岩澤 康裕	
			2014A7805	BL36XU	岩澤 康裕	
			2014A7806	BL36XU	岩澤 康裕	
			2014A7810	BL36XU	横山 利彦	
			2014A7821	BL36XU	唯 美津木	
2014B7801	BL36XU	岩澤 康裕				
2014B7802	BL36XU	岩澤 康裕				
2015A7802	BL36XU	岩澤 康裕				

JPS Conference Proceedings

32288	Hideki Kohri	10 (2016) 010008	2014B6001	BL33LEP	堀田 智明	Photoproduction for N^* and Related Topics at LEPS/LEPS2
32664	Atsushi Yamasaki	3 (2014) 013001	2010A1227	BL25SU	山崎 篤志	Spin-Orbit-Coupling-Induced j_{eff} States in Perovskite Iridates Studied by Photoemission Spectroscopy
			理研	BL19LXU		

Materials Science Forum

32401	Shinya Hosokawa	879 (2017) 767-772	2013A1138	BL35XU	細川 伸也	Phonon Excitations in $\text{Pd}_{40}\text{Ni}_{40}\text{P}_{20}$ Bulk Metallic Glass by Inelastic X-Ray Scattering
			2013B1298	BL35XU	細川 伸也	
			2014A1059	BL35XU	細川 伸也	
32422	Yoshikazu Nakai	879 (2017) 1355-1360	2013B1722	BL46XU	中井 善一	Misorientation Measurement of Individual Grains in Fatigue of Polycrystalline Alloys by Diffraction Contrast Tomography using Ultrabright Synchrotron Radiation
			2014A1587	BL46XU	中井 善一	
			2014B1798	BL19B2	中井 善一	
			2015A1849	BL46XU	中井 善一	
			2015B1786	BL46XU	中井 善一	

PLoS One

32552	Lakshmi Ganapathi	10 (2015) e0134640	2014A1123	BL41XU	大戸 梅治	The Imidazoquinoline Toll-Like Receptor-7/8 Agonist Hybrid-2 Potently Induces Cytokine Production by Human Newborn and Adult Leukocytes
			2014B1421	BL41XU	大戸 梅治	
			2015A1043	BL41XU	大戸 梅治	
32631	Takafumi Itoh	11 (2016) e0167310	2014A1844	BL26B2	伊藤 貴文	Crystal Structure of Chitinase ChiW from <i>Paenibacillus</i> sp. str. FPU-7 Reveals a Novel Type of Bacterial Cell-Surface-Expressed Multi-Modular Enzyme Machinery
			2011A1882	BL26B1	日弁 隆雄	
			2011A1990	BL38B1	伊藤 貴文	
			2012A1066	BL38B1	伊藤 貴文	
			2012B1148	BL38B1	伊藤 貴文	
			2013A1372	BL38B1	伊藤 貴文	
			2013B1339	BL38B1	伊藤 貴文	
			2014B1166	BL26B2	伊藤 貴文	
			2016A2557	BL26B1	伊藤 貴文	
			2014B1973	BL26B2	伊藤 貴文	

Proceedings of SPIE

32540	Keiji Umetani	10020 (2016) 1002005	2014B1318	BL20B2	梅谷 啓二	Development of 36M-pixel X-ray Detector for Large Field of View and High-Resolution Micro-CT
			2015A1504	BL20B2	梅谷 啓二	
			2015B1950	BL20B2	梅谷 啓二	
32606	Atsushi Momose	9967 (2016) 99671E	2015B1205	BL28B2	百生 敦	Development of Grating-Based X-ray Phase Tomography under the ERATO Project

Science Advances

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
32405	Tomohiro Ohuchi	1 (2015) e1500360	2015A0075	BL04B1	入船 徹男	Dislocation-Accommodated Grain Boundary Sliding as the Major Deformation Mechanism of Olivine in the Earth's Upper Mantle
			2010A0082	BL04B1	入船 徹男	
32502	Shoko Kimura	2 (2016) e1501397	2011B1227	BL41XU	姚 閔	Template-Dependent Nucleotide Addition in the Reverse (3'-5') Direction by Thg1-like Protein
			2014B1033	BL41XU	姚 閔	

ACS Chemical Biology

32181	Hideshi Yokoyama	10 (2015) 1128-1136	2014B1991	BL26B1	横山 英志	Structural Basis of New Allosteric Inhibition in Kinesin Spindle Protein Eg5
-------	------------------	------------------------	-----------	--------	-------	--

Acta Crystallographica Section A

32728	Wen Chung Liu	73 (2017) 46-53	2012A4128	BL12B2	Chang Shih Lin	Revisiting La _{0.5} Sr _{1.5} MnO ₄ Lattice Distortion and Charge Ordering with Multi-Beam Resonant Diffraction
			2015B4128	BL12B2	Chang Shih Lin	
			2012B4131	BL12B2	Chang Shih Lin	
			2016A4139	BL12B2	Chang Shih Lin	

Acta Crystallographica Section C

32160	M. A. Ali	72 (2016) 743-747	2015A1293	BL02B1	野口 修治	The Antitumour Drug 7-ethyl-10-hydroxycamptothecin Monohydrate and its Solid-State Hydrolysis Mechanism on Heating
-------	-----------	----------------------	-----------	--------	-------	--

Acta Geologica Sinica (English Edition)

32541	Jian Han	90 (2016) 38-65	2015A1903	BL47XU	小宮 剛	Internal Microanatomy and Zoological Affinity of the Early Cambrian <i>Olivoooides</i>
			2012B1113	BL20XU	小宮 剛	
			2011B1064	BL20B2	小宮 剛	

Advanced Materials Interfaces

32433	Ryu Yukawa	3 (2016) 1600527	2014A7466	BL07LSU	松田 巖	Tailoring Photovoltage Response at SrRuO ₃ /SrTiO ₃ Heterostructures
			2014A7467	BL07LSU	山本 達	

Advanced Science

32607	Yuko Nakatsuka	(2016) Online published 5 Dec. 2016	2013A1691	BL01B1	藤田 晃司	Giant Faraday Rotation through Ultrasmall Fe _n ⁰ Clusters in Superparamagnetic FeO-SiO ₂ Vitreous Films
			2014B1128	BL01B1	山田 幾也	

Analytical Chemistry

32292	Kenji Shiota	87 (2015) 11249-11254	2013B1296	BL37XU	高岡 昌輝	Cesium Speciation in Dust from Municipal Solid Waste and Sewage Sludge Incineration by Synchrotron Radiation Micro-X-ray Analysis
			2012A1081	BL01B1	高岡 昌輝	
			2012B1359	BL01B1	高岡 昌輝	
			2015A1900	BL37XU	高岡 昌輝	

The Anatomical Records

32345	Luosha Xiao	299 (2016) 1424-1434	2011B1875	BL20XU	世良 俊博	Morphological Characterization of Acinar Cluster in Mouse Lung Using a Multiscale-based Segmentation Algorithm on Synchrotron Micro-CT Images
			2011B1881	BL20B2	世良 俊博	
			2009B1198	BL20B2	世良 俊博	
			2007A2071	BL20B2	世良 俊博	

Applied Clay Science

32325	Takahiro Takei	124-125 (2016) 236-242	2015A1004	BL02B2	熊田 伸弘	Topotactic Transformation of Ni-based Layered Double Hydroxide Film to Layered Metal Oxide and Hydroxide
-------	----------------	---------------------------	-----------	--------	-------	--

Applied Materials and Interfaces

32580	Tanwistha Ghosh	8 (2016) 25396-25404	2014B1915	BL46XU	尾坂 格	Following the TRMC Trail: Optimization of Photovoltaic Efficiency and Structure-Property Correlation of Thiophene Oligomers
-------	-----------------	-------------------------	-----------	--------	------	---

Biomolecules

32178	Hideshi Yokoyama	4 (2014) 600-615	2011A1893	BL26B1	横山 英志	Structures and Metal-Binding Properties of <i>Helicobacter pylori</i> Neutrophil-Activating Protein with a Di-Nuclear Ferroxidase Center
-------	------------------	---------------------	-----------	--------	-------	--

Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	チームライン	実験責任者	タイトル
32241	Tatsuya Kawato	79 (2015) 640-642	2013B1680	BL38B1	川戸 達矢	Structure-based Design and Synthesis of a Bivalent Iminobiotin Analog Showing Strong Affinity toward a Low Immunogenic Streptavidin Mutant
			2013B6848	BL44XU	松村 浩由	

Bulletin of the Chemical Society of Japan

32171	Junya Ohyama	89 (2016) 914-921	2015B1482	BL01B1	大山 順也	Formation of Ru Shell on Co/Al ₂ O ₃ by Galvanic Deposition Method and Its High Catalytic Performance for Three-Way Conversion
-------	--------------	----------------------	-----------	--------	-------	--

Cell

32592	Tian Hua	167 (2016) 750-762	2015B1031	BL41XU	Liu Zhi-Jie	Crystal Structure of the Human Cannabinoid Receptor CB ₁
-------	----------	-----------------------	-----------	--------	-------------	---

Chem

32201	Daishi Fujita	1 (2016) 91-101	2015A0120	BL38B1	藤田 誠	Self-Assembly of M ₃₀ L ₆₀ Icosidodecahedron
			2015A0120	BL41XU	藤田 誠	
			2014B1540	BL38B1	藤田 誠	

ChemCatChem

32210	Meicheng Wen	7 (2015) 3519-3525	2014A1045	BL01B1	森 浩亮	Visible-Light-Responsive Carbon Dioxide Reduction System: Rhenium Complex Intercalated into a Zirconium Phosphate Layered Matrix
			2014B1041	BL01B1	森 浩亮	

Chemical and Pharmaceutical Bulletin

32586	Shunichi Utsumi	64 (2016) 1692-1697	2016A1209	BL40B2	小幡 誉子	Effect of Nerolidol and/or Levulinic Acid on the Thermotropic Behavior of Lipid Lamellar Structures in the Stratum Corneum
			2015A1139	BL40B2	小幡 誉子	
			2015B1099	BL40B2	小幡 誉子	

Chemical Communications

32360	Sireenart Surinwong	52 (2016) 12893-12896	2015B1001	BL02B1	今野 巧	A Drastic Change in the Superhydrophilic Crystal Porosities of Metallosupramolecular Structures <i>via</i> a Slight Change in pH
			2015B1237	BL02B1	吉成 信人	
			2016A1073	BL02B2	吉成 信人	

Chemical Geology

32620	Kouhei Tokunaga	447 (2016) 59-69	2015A1768	BL01B1	徳永 紘平	Application of Arsenic in Barite as a Redox Indicator for Suboxic/Anoxic Redox Condition
			2015B1839	BL01B1	徳永 紘平	
			2015A0127	BL37XU	高橋 嘉夫	

The Chemical Record

32336	Seiji Yamazoe	16 (2016) 2338-2348	2016A1436	BL01B1	山添 誠司	Controlled Synthesis of Carbon-Supported Gold Clusters for Rational Catalyst Design
			2015B1308	BL01B1	山添 誠司	
			2015A1590	BL01B1	山添 誠司	
			2014B1430	BL01B1	山添 誠司	

Chemical Science

32224	Hiroshi Ueno	7 (2016) 5770-5774	2013A0100	BL02B1	青柳 忍	Electrochemical Reduction of Cationic Li ⁺ @C ₆₀ to Neutral Li ⁰ @C ₆₀ ⁻ : Isolation and Characterisation of Endohedral [60]fulleride
-------	--------------	-----------------------	-----------	--------	------	--

Chemistry - A European Journal

32217	Kohsuke Mori	22 (2016) 11122-11137	2013B1041	BL01B1	森 浩亮	Metal Complexes Supported on Solid Matrices for Visible-Light-Driven Molecular Transformations
			2014A1045	BL01B1	森 浩亮	

Chemistry - An Asian Journal

32219	Jiayuan Shi	11 (2016) 2377-2381	2015A1149	BL01B1	森 浩亮	Room-Temperature and Aqueous-Phase Synthesis of Plasmonic Molybdenum Oxide Nanoparticles for Visible-Light-Enhanced Hydrogen Generation
-------	-------------	------------------------	-----------	--------	------	---

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
32459	Ryo Sasai	45 (2016) 1409-1411	2010A1287	BL02B2	笹井 亮	Iodide Selectivity and γ -Ray Shielding Ability of a Layered Double Hydroxide
			2010B1279	BL02B2	笹井 亮	
			2011B1703	BL02B2	笹井 亮	
			2012B1770	BL02B2	笹井 亮	
			2013B1677	BL02B2	新井 栄作	

ChemistryOpen

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
32426	Takahiro Ichikawa	5 (2016) 439-444	2015A1135	BL02B2	一川 尚広	Induction of an Infinite Periodic Minimal Surface by Endowing An Amphiphilic Zwitterion with Halogen-Bond Ability

ChemistrySelect

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
32213	Miriam Navlani-García	1 (2016) 1879-1886	2015A1149	BL01B1	森 浩亮	Investigation of Size Sensitivity in the Hydrogen Production from Formic Acid over Carbon-Supported Pd Nanoparticles

ChemNanoMat

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
32342	Masakoto Kanezashi	2 (2016) 264-267	2015A0115	BL04B2	脇原 徹	Tailoring the Subnano Silica Structure via Fluorine Doping for Development of Highly Permeable CO ₂ Separation Membranes

ChemPhysChem

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
32443	Ai Nozaki	17 (2016) 412-417	2014A1045	BL01B1	森 浩亮	Skeletal Ni Catalysts Prepared from Amorphous Ni-Zr Alloys: Enhanced Catalytic Performance for Hydrogen Generation from Ammonia Borane
			2014B1041	BL01B1	森 浩亮	

The Cnidaria, Past, Present and Future: The World of Medusa and Her Sisters

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
32542	Jian Han	(2016) 15-29	2015A1903	BL47XU	小宮 剛	Integrated Evolution of Cnidarians and Oceanic Geochemistry before and during the Cambrian Explosion

Corrosion Engineering

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
32403	Takenori Nakayama	64 (2015) 226-235	2009B5321	BL16B2	稲葉 雅之	Investigation on Metal Corrosion Phenomena by Using Synchrotron Radiation and Neutron Beams

Dalton Transactions

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
32469	Sachil Sharma	45 (2016) 18064-18068	2015A1590	BL01B1	山添 誠司	Tuning the Electronic Structure of Thiolate-Protected 25-atom Clusters by Co-Substitution with Metals Having Different Preferential Sites
			2015B1308	BL01B1	山添 誠司	
			2016A1436	BL01B1	山添 誠司	

Developmental Cell

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
32225	Hayashi Yamamoto	38 (2016) 86-99	2013B1005	BL41XU	山本 雅貴	The Intrinsically Disordered Protein Atg13 Mediates Supramolecular Assembly of Autophagy Initiation Complexes

EC Dental Science

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
32198	Makoto Asaizumi	5 (2016) 992-1017	2014B1049	BL47XU	浅泉 誠	Submicron X-Ray Computed Tomography of Human Dentin Treated with Topical Fluoride Modalities

Electrocatalysis

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
32593	Fumiya Sugimura	8 (2017) 46-50	2013B1302	BL13XU	星 永宏	The Oxygen Reduction Reaction on Kinked Stepped Surfaces of Pt

eLife

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
32154	Doudou Wang	5 (2016) e18101	2013A1079	BL41XU	仁田 亮	Motility and Microtubule Depolymerization Mechanisms of the Kinesin-8 Motor, KIF19A
			2013B1310	BL38B1	仁田 亮	
			2012B1375	BL41XU	仁田 亮	

Extended Abstracts of the 2016 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM)

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
32204	Takeaki Sakurai	(2016) 277-278	2012B7436	BL07LSU	櫻井 岳暁	Investigation of Photo-carrier Generation Processes of Organic Solar Cells Using Time Resolved X-ray Photoelectron Spectroscopy
			2013B7452	BL07LSU	櫻井 岳暁	
			2014B7471	BL07LSU	櫻井 岳暁	

F1000 Prime

32155	Yu-Chuan Wang	(2016) 13 Sep. 2016	2013A4006	BL12B2	Chou Shan-Ho	Nucleotide Binding by the Widespread High-Affinity Cyclic di-GMP Receptor MshEN Domain
-------	---------------	------------------------	-----------	--------	--------------	--

Faraday Discussions

32414	Kiyonobu Nagaya	194 (2016) 537-562	2012B8045	BL3	上田 潔	Femtosecond Charge and Molecular Dynamics of I-containing Organic Molecules Induced by Intense X-ray Free-Electron Laser Pulses
-------	-----------------	-----------------------	-----------	-----	------	---

FEBS Open Bio

32175	Hideshi Yokoyama	4 (2014) 804-812	2014B1991	BL26B1	横山 英志	Crystal Structure of the Stomatol Operon Partner Protein from <i>Pyrococcus horikoshii</i> Indicates the Formation of a Multimeric Assembly
-------	------------------	---------------------	-----------	--------	-------	---

Frontiers in Microbiology

32424	Akihito Yamaguchi	6 (2015) 327	2011B6627	BL44XU	中島 良介	Structural Basis of RND-type Multidrug Exporters
			2012A6730	BL44XU	中島 良介	
			2012B6730	BL44XU	中島 良介	
			2013B6833	BL44XU	中島 良介	
			2014A6934	BL44XU	中島 良介	
			2014B6934	BL44XU	中島 良介	

Fuel Processing Technology

32151	Shuhei Ogo	141 (2016) 123-129	2015A1932	BL14B2	関根 泰	One Pot Direct Catalytic Conversion of Cellulose to C ₃ and C ₄ Hydrocarbons using Pt/H-USY Zeolite Catalyst at Low Temperature
-------	------------	-----------------------	-----------	--------	------	---

Heliyon

32701	Shigeaki Ono	2 (2016) e00220	2014B1164	BL10XU	小野 重明	Titanium Boride Equation of State Determined by in-situ X-ray Diffraction
			2015A1209	BL10XU	小野 重明	

Hyperfine Interactions

32457	Shinichi Nakamura	237 (2016) 157	2015A3514	BL11XU	中村 真一	Development of Mössbauer Diffractometer by using Nuclear Resonant Scattering at SPring-8 BL11XU
-------	-------------------	-------------------	-----------	--------	-------	---

IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation

32478	Shinya Iwata	23 (2016) 2556-2561	2014B1835	BL20XU	岩田 晋弥	Influence of Humidity Treatment on Electrical Tree Propagation in Epoxy Resin
			2014A1511	BL20XU	岩田 晋弥	

IEEE Transactions on Magnetics

32191	Daiki Oshima	52 (2016) 3201804	2012B1759	BL25SU	加藤 剛志	Ion Irradiation-Induced Magnetic Transition of MnGa Alloy Films Studied by X-Ray Magnetic Circular Dichroism and Low-Temperature Hysteresis Loops
			2013B1744	BL25SU	加藤 剛志	

IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control

32276	Daisuke Ito	63 (2016) 1642-1646	2014B4908	BL15XU	山田 智明	Fabrication of Tetragonal Pb(Zr,Ti)O ₃ Nanorods by Focused Ion Beam and Characterization of the Domain Structure
			2014A4908	BL15XU	山田 智明	
			2013B4908	BL15XU	山田 智明	
			2013A4904	BL15XU	山田 智明	
			2012B4906	BL15XU	山田 智明	
			2013A1525	BL13XU	山田 智明	
			2012B1554	BL13XU	山田 智明	

Immunity

32547	Zhikuan Zhang	45 (2016) 737-748	2015A1043	BL41XU	大戸 梅治	Structural Analysis Reveals that Toll-like Receptor 7 Is a Dual Receptor for Guanosine and Single-Stranded RNA
-------	---------------	----------------------	-----------	--------	-------	--

International Journal of Fatigue

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
32259	Fumiyooshi Yoshinaka	93 (2016) 397-405	2013B1470	BL20XU	中村 孝	Non-Destructive Observation of Internal Fatigue Crack Growth in Ti-6Al-4V by using Synchrotron Radiation μ CT Imaging
			2013A1218	BL20XU	中村 孝	

International Journal of Hydrogen Energy

32182	Meiqiang Fan	40 (2015) 12663-12673	2014B3873	BL23SU	許 亜	Spontaneous Activation Behavior of Ni ₃ Sn, an Intermetallic Catalyst, for Hydrogen Production via Methanol Decomposition
			2013B3873	BL23SU	許 亜	
			2013A3873	BL23SU	許 亜	
			2012A3806	BL23SU	許 亜	
			2011B3806	BL23SU	許 亜	

International Journal of Pharmaceutics

32173	Takatoshi Terada	509 (2016) 328-337	2014B1119	BL37XU	板井 茂	Sustained-release Microsphere Formulation Containing an Agrochemical by Polyurethane Polymerization during an Agitation Granulation Process
			2014A1205	BL37XU	岩尾 康範	

IUCrJ

32438	Derek Mendez	3 (2016) 420-429	2013B8009	BL3	Doniach Sebastian	Angular Correlations of Photons from Solution Diffraction at a Free-Electron Laser Encode Molecular Structure
-------	--------------	---------------------	-----------	-----	-------------------	---

JAEA Research

32450	Takayuki Nagai	(2016) 015	2015B3504	BL11XU	塩飽 秀啓	XAFS Measurement of Simulated Waste Glass Samples (Borosilicate Glass Including Vanadium)
-------	----------------	------------	-----------	--------	-------	---

Journal of Applied Polymer Science

32705	Taizo Kabe	132 (2015) 41258	理研	BL45XU		High Tensile Strength Fiber of Poly[(<i>R</i>)-3-hydroxybutyrate-co-(<i>R</i>)-3-hydroxyhexanoate] Processed by Two-Step Drawing with Intermediate Annealing
			2011B1711	BL47XU	岩田 忠久	

The Journal of Biological Chemistry

32280	Kotaro Koiwai	291 (2016) 3705-3724	2013B1280	BL38B1	鈴木 淳巨	Structural Basis for Toughness and Flexibility in the C-terminal Passenger Domain of an <i>Acinetobacter</i> Trimeric Autotransporter Adhesin
			2014A1269	BL38B1	鈴木 淳巨	

Journal of Crystal Growth

32361	Ryohei Tsuruta	(2016) Available online 15 Oct. 2016	2015A1685	BL46XU	中山 泰生	Crystallinity of the Epitaxial Heterojunction of C ₆₀ on Single Crystal Pentacene
			2015B1624	BL46XU	中山 泰生	

Journal of Drug Delivery Science and Technology

32400	Shunichi Utsumi	35 (2016) 200-206	2015A1139	BL40B2	小幡 誉子	Thermal Behavior and Functional Group Interaction of Lipids Extracted from the Stratum Corneum
			2015B1099	BL40B2	小幡 誉子	

Journal of Electronic Materials

32220	Tatsuro Omoto	45 (2016) 1478-1483	2014B1334	BL02B2	小菅 厚子	Formation Phases and Electrical Properties of Ge-Bi-Te Compounds with Homologous Structures
-------	---------------	------------------------	-----------	--------	-------	---

The Journal of Experimental Medicine

32496	Chizuru Akatsu	213 (2016) 2691	2014B1230	BL41XU	沼本 修孝	CD72 Negatively Regulates B Lymphocyte Responses to the Lupus-Related Endogenous Toll-Like Receptor 7 Ligand Sm/RNP
-------	----------------	--------------------	-----------	--------	-------	---

Journal of Hazardous Materials

32396	Yohey Hashimoto	322 (2017) 318-324	2012B1327	BL01B1	橋本 洋平	Chemical Speciation of Silver (Ag) in Soils under Aerobic and Anaerobic Conditions: Ag Nanoparticles vs. Ionic Ag
			2013B1068	BL01B1	橋本 洋平	
			2014B1245	BL01B1	橋本 洋平	

Journal of Inorganic Biochemistry

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
32563	Margherita Maiuri	153 (2015) 128-135	2013B0103	BL09XU	Cramer Stephen	Low Frequency Dynamics of the Nitrogenase MoFe Protein via Femtosecond Pump Probe Spectroscopy — Observation of a Candidate Promoting Vibration
			2010B0032	BL09XU	Cramer Stephen	
			2014B1032	BL09XU	Wang Hongxin	
			理研	BL19LXU		

Journal of Macromolecular Science, Part B

32605	Tooru Kitagawa	55 (2016) 1159-1172	2016A7212	BL03XU	船城 健一	Novel Fine Structures in poly- <i>p</i> -phenylenebenzobisoxazole (PBO) Fibers Induced by Water Vapor, Hot Water, and Nonaqueous Coagulation III. Random and Radial Preferential Orientations of the Crystal b-Axis
			2015A7212	BL03XU	船城 健一	

Journal of Material Sciences and Engineering

32699	Mohammad Ghafari	5 (2016) 1000299	2015A1890	BL04B2	Kamali-Moghaddam Saeed	Are Transition Metal-Rich Metallic Glasses Made Up of Distorted BCC Clusters?
-------	------------------	---------------------	-----------	--------	------------------------	---

Journal of Materials Chemistry A

32211	Ai Nozaki	4 (2016) 8458-8465	2015B1083	BL01B1	森 浩亮	Skeletal Au Prepared from Au-Zr Amorphous Alloys with Controlled Atomic Compositions and Arrangement for Active Oxidation of Benzyl Alcohol
-------	-----------	-----------------------	-----------	--------	------	---

Journal of Materials Chemistry C

32164	Hiroki Taniguchi	4 (2016) 3168-3174	2015A1419	BL01B1	谷口 博基	Heterovalent Pb-Substitution in Ferroelectric Bismuth Silicate Bi ₂ SiO ₅
			2014B1468	BL02B2	黒岩 芳弘	
			2015A1425	BL02B2	谷口 博基	

Journal of Medicinal Chemistry

32548	Mallesh Beesu	59 (2016) 3311-3330	2014B1421	BL41XU	大戸 梅治	Identification of a Human Toll-Like Receptor (TLR) 8-Specific Agonist and a Functional Pan-TLR Inhibitor in 2-Aminoimidazoles
			2015A1043	BL41XU	大戸 梅治	

Journal of Organometallic Chemistry

32232	Takayuki Nakashima	805 (2016) 27-33	2015A1367	BL02B1	山野井 慶徳	Fluorescence and Phosphorescence of a Series of Silicon-Containing Six-Membered-Ring Molecules
-------	--------------------	---------------------	-----------	--------	--------	--

Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry

32672	Shuhei Ogata	334 (2017) 55-60	2013B1776	BL02B2	長谷川 美貴	Polymorphism-based Luminescence of Lanthanide Complexes with a Deuterated 1,10-phenanthroline
			2014B1316	BL02B2	長谷川 美貴	
			2015A1552	BL02B2	長谷川 美貴	
			2015B1353	BL02B2	石井 あゆみ	

Journal of Photopolymer Science and Technology

32582	Marina Ide	29 (2016) 565-569	2013B1719	BL19B2	尾坂 格	Control of Phase Separation of Benzothienoisindigo-Benzodithiophene Copolymer for Organic Photovoltaics
-------	------------	----------------------	-----------	--------	------	---

The Journal of Physical Chemistry B

32376	Yuan Yuan	119 (2015) 8446-8456	2013A1280	BL40B2	Zhang Jianming	Study on π - π Interaction in H- and J-Aggregates of Poly(3-hexylthiophene) Nanowires by Multiple Techniques
-------	-----------	-------------------------	-----------	--------	----------------	--

The Journal of Physical Chemistry Letters

32389	George Reiter	7 (2016) 4433-4437	2015B1098	BL08W	Deb Aniruddha	Quantum Coherence and Temperature Dependence of the Anomalous State of Nanoconfined Water in Carbon Nanotubes
			2011A1074	BL08W	Deb Aniruddha	

Journal of Physics: Condensed Matter

32205	Kazuhiro Fuchizaki	28 (2016) 445101	2014A1126	BL04B2	淵崎 員弘	Structure of a Molecular Liquid Gel ₄
-------	--------------------	---------------------	-----------	--------	-------	--

Journal of Polymer Science Part B: Polymer 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
32234	Makoto Kido	54 (2016) 2275-2283	2013B1447	BL02B2	高原 淳	Effect of Molecular Weight on Microcrystalline Structure Formation in Polymer with Perylenediimide Side Chain
			2014A1250	BL40XU	高原 淳	
			2014B1198	BL40XU	小椎尾 謙	
			2015A1585	BL02B2	高原 淳	
			2015A1514	BL40XU	小椎尾 謙	
			2015A1582	BL40XU	高原 淳	
			2015B1459	BL40XU	小椎尾 謙	
			2015B1325	BL40XU	小椎尾 謙	
			2015B1541	BL02B2	小椎尾 謙	
2015B1188	BL40B2	高原 淳				

Journal of Power Source

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
32394	Takuya Matsuyama	313 (2016) 104-111	2013B1023	BL27SU	内本 喜晴	Structure Analysis using X-ray Photoelectron Spectroscopy and X-ray Absorption Near Edge Structure for Amorphous MS ₂ (M: Ti, Mo) Electrodes in All-Solid-State Lithium Batteries
			2014A1013	BL27SU	内本 喜晴	

Journal of Synchrotron Radiation

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
32679	Hongxin Wang	22 (2015) 1334-1344	2010B0032	BL09XU	Cramer Stephen	A Strenuous Experimental Journey Searching for Spectroscopic Evidence of a Bridging Nickel-Iron-Hydride in [NiFe] Hydrogenase
			2014B1032	BL09XU	Wang Hongxin	
			理研	BL19LXU		

Materials Science and Engineering A

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
32262	Masaki Teranishi	678 (2016) 273-285	2014A1004	BL20XU	桑水流 理	Three-Dimensional Stress and Strain around Real Shape Si Particles in Cast Aluminum Alloy under Cyclic Loading
			2014B1026	BL20XU	桑水流 理	

Materials Transactions

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
32451	Mikako Takeda	50 (2009) 2242-2246	2006A5311	BL16B2	稲葉 雅之	Physical Properties of Iron-Oxide Scales on Si-Containing Steels at High Temperature
			2006B5311	BL16B2	稲葉 雅之	

Medicinal Chemistry

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
32546	Malleesh Beesu	58 (2015) 7833-7849	2013A1076	BL41XU	大戸 梅治	Structure-Based Design of Human TLR8-Specific Agonists with Augmented Potency and Adjuvanticity
			2013B1106	BL41XU	大戸 梅治	

Metalloenzymes in Denitrification : Applications and Environmental Impacts

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
32452	Masaki Nojiri	(2017) 91-113	2013A6841	BL44XU	野尻 正樹	Structure and Function of Copper Nitrite Reductase
			2013B6841	BL44XU	野尻 正樹	
			2014A6940	BL44XU	野尻 正樹	
			2014B6940	BL44XU	野尻 正樹	

Molecular Pharmacology

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
32497	Satoshi Morooka	88 (2015) 316-325	2014B1947	BL26B1	沼本 修孝	Identification of a Dual Inhibitor of SRPK ₁ and CK ₂ That Attenuates Pathological Angiogenesis of Macular Degeneration in Mice

Nature Materials

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
32194	Junfeng He	14 (2015) 577-582	2014B1501	BL47XU	He Ruihua	Spectroscopic Evidence for Negative Electronic Compressibility in a Quasi-Three-Dimensional Spin-Orbit Correlated Metal

Nature Photonics

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
32365	Yusuke Tominaga	10 (2016) 723-726	2014B1195	BL38B1	杉山 成	Promotion of Protein Crystal Growth by Actively Switching Crystal Growth Mode via Femtosecond Laser Ablation
			2015A1046	BL38B1	丸山 美帆子	

Nature Structural and Molecular Biology

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
32543	Hiromi Tanji	22 (2015) 109-115	2012A1829	BL41XU	大戸 梅治	Toll-like Receptor 8 Senses Degradation Products of Single Stranded RNA
			2012B1179	BL41XU	大戸 梅治	
			2013A1076	BL41XU	大戸 梅治	
			2013B1106	BL41XU	大戸 梅治	
			2014A1123	BL41XU	大戸 梅治	
2014B1421	BL41XU	大戸 梅治				

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A

32146	Junichiro Katsuta	840 (2016) 51-58	2015B1022	BL08W	深沢 泰司	Study of the Polarimetric Performance of a Si/CdTe Semiconductor Compton Camera for the <i>Hitomi</i> Satellite
-------	-------------------	---------------------	-----------	-------	-------	---

Nucleic Acids Research

32585	Takuji Oyama	44 (2016) 9505-9517	2015A1025	BL26B2	大山 拓次	Atomic Structure of an Archaeal GAN Suggests its Dual Roles as an Exonuclease in DNA Repair and a CMG Component in DNA Replication
			2016A2543	BL26B2	大山 拓次	

Optics Express

32398	Naomichi Kikuchi	24 (2016) 25548-25564	2014A1471	BL01B1	前田 良知	Atomic Scattering Factor of the ASTRO-H (<i>Hitomi</i>) SXT Reflector around the Gold's L Edges
			2014B1475	BL01B1	前田 良知	

Palaeontologia Electronica

32553	Yusuke Takeda	19 (2016) 46A	2015A1907	BL20B2	竹田 裕介	Non-destructive Analysis of in situ Ammonoid Jaws by Synchrotron Radiation X-ray Micro-Computed Tomography
			2013A1441	BL20B2	上杉 健太郎	

Physica Status Solidi B

32440	Philip J. Mousley	(2016) online published 25 Oct. 2016	2014B3513	BL11XU	Bell Gavin	In situ X-ray Diffraction of GaAs/MnSb/Ga(In)As Heterostructures
-------	-------------------	--------------------------------------	-----------	--------	------------	--

Physical Chemistry Chemical Physics

32359	Rosantha Kumara	18 (2016) 30622-30629	2013B1207	BL04B2	Kumara Rosantha	Origin of the Catalytic Activity of Face-Centered-Cubic Ruthenium Nanoparticles Determined from an Atomic-Scale Structure
			2014A1321	BL04B2	坂田 修身	
			2014B1210	BL04B2	Kumara Rosantha	
			2015B1245	BL04B2	坂田 修身	

Physical Review A

32415	Shambhu Ghimire	94 (2016) 043418	2012B8004	BL3	Ghimire Shambhu	Nonsequential Two-Photon Absorption from the K Shell in Solid Zirconium
-------	-----------------	---------------------	-----------	-----	-----------------	---

Physical Review Letters

32159	Ei-ichiro Matsubara	117 (2016) 135501	2012B8044	BL3	松原 英一郎	Initial Atomic Motion Immediately Following Femtosecond-Laser Excitation in Phase-Change Materials
			2013A8048	BL3	松原 英一郎	
			2013B8053	BL3	松原 英一郎	
			2014A8037	BL3	松原 英一郎	
			2014B8062	BL3	松原 英一郎	

Physics Letters B

32448	Tomohiro Yamaji	763 (2016) 454-457	2015B8007	BL3	難波 俊雄	An Experiment of X-ray Photon-Photon Elastic Scattering with a Laue-case Beam Collider
			2014B8028	BL3	難波 俊雄	

PLoS Pathogens

32493	Bochao Wang	12 (2016) e1005594	2014B1234	BL26B1	中村 昇太	Crystal Structure of Human Herpesvirus 6B Tegument Protein U14
			2015A1070	BL26B1	鶴田 宏樹	
			2015A1101	BL26B2	中村 昇太	

Proceedings of the 2015 IEEE International Conference on Imaging Systems & Techniques (IST)

32539	Keiji Umetani	(2015) 11-15	2013B1898	BL20B2	梅谷 啓二	Development of 36M-Pixel Micro-CT Using Digital Single-Lens Reflex Camera
			2014A1839	BL20B2	梅谷 啓二	

Proceedings of THERMEC'2016

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
32174	Yoshikazu Nakai	(2016)	2013B1722	BL46XU	中井 善一	Misorientation Measurement of Individual Grains in Fatigue of Polycrystalline Alloys by Diffraction Contrast Tomography using Ultrabright Synchrotron Radiation
			2014A1587	BL46XU	中井 善一	
			2014B1798	BL19B2	中井 善一	
			2015A1849	BL46XU	中井 善一	
			2015B1786	BL46XU	中井 善一	

Progress of Theoretical and Experimental Physics

32286	Yuhei Morino	2015 (2015) 013D01	2013B6001	BL33LEP	堀田 智明	Backward-Angle Photoproduction of ω and η' Mesons from Protons in the Photon Energy Range from 1.5 to 3.0 GeV
-------	--------------	-----------------------	-----------	---------	-------	---

Review of Scientific Instruments

32166	Takashi Yoshino	87 (2016) 105106	2011B1214	BL04B1	芳野 極	Short-Period Cyclic Loading System for <i>in situ</i> X-ray Observation of Anelastic Properties at High Pressure
			2012A1084	BL04B1	芳野 極	
			2012B1175	BL04B1	芳野 極	
			2013B1125	BL04B1	芳野 極	
			2014B1215	BL04B1	芳野 極	
			2015B1187	BL04B1	芳野 極	
			2016A1713	BL43IR	芳野 極	

Science

32715	Eriko Nango	354 (2016) 1552-1557	2014B8051	BL3	南後 恵理子	A Three-Dimensional Movie of Structural Changes in Bacteriorhodopsin
			2015A8047	BL3	南後 恵理子	
			2015B8054	BL3	南後 恵理子	
			2015A1119	BL41XU	南後 恵理子	

Science of Advanced Materials

32584	Shota Nakayama	8 (2016) 2082-2088	2012B1863	BL46XU	足立 大樹	Correlation Between Mechanical Properties and Microstructure as a Function of W Content in Ni-W Dual-Phase Alloys
			2013A1243	BL46XU	足立 大樹	

Small

32470	Panpan Su	12 (2016) 6083-6089	2015B1174	BL01B1	神谷 和秀	Nickel-Nitrogen-Modified Graphene: An Efficient Electrocatalyst for the Reduction of Carbon Dioxide to Carbon Monoxide
			2016A1120	BL01B1	神谷 和秀	
			2016A1464	BL01B1	神谷 和秀	

Solid State Communications

32697	Masao Ichida	250 (2017) 119-122	2012B1341	BL43IR	市田 正夫	e-beam Irradiation Effects on IR Absorption Bands in Single-Walled Carbon Nanotubes
			2013A1258	BL43IR	市田 正夫	
			2014B1173	BL43IR	市田 正夫	
			2015B1549	BL43IR	市田 正夫	

Solid State Ionics

32162	Takanori Itoh	297 (2016) 20-28	2008B1877	BL19B2	伊藤 孝憲	Annealing Effect on Phase Stability of Doped Zirconia using Experimental and Computational Studies
-------	---------------	---------------------	-----------	--------	-------	--

Structure

32147	Yan Zhao	22 (2014) 1152-1160	2013A1092	BL41XU	Zhang Cai	Crystal Structure of the <i>E. coli</i> Peptide Transporter YbgH
-------	----------	------------------------	-----------	--------	-----------	--

Surface Science

32303	Tadashi Abukawa	656 (2017) 43-47	2013A7448	BL07LSU	虻川 匡司	Time-Resolved Soft X-ray Core-Level Photoemission Spectroscopy at 880 °C using the Pulsed Laser and Synchrotron Radiation and the Pulse Heating Current
			2014B7477	BL07LSU	虻川 匡司	

Transactions of the Materials Research Society of Japan

32568	Yukihiro Taguchi	41 (2016) 341-346	2011B1585	BL27SU	田口 幸広	Valence State of Mn in La _{1-x} Sr _x MnO ₃ Probed by Resonant Mn 3s → 2p X-ray Emission Spectroscopy
-------	------------------	----------------------	-----------	--------	-------	---

X-ray Spectroscopy

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
32307	Yasushi Uehara	45 (2016) 357-362	2011B5132	BL16XU	上原 康	L-series X-ray Emission Spectra of 3d-metal Compounds with Various Excitation Conditions
			2012B5132	BL16XU	上原 康	
			2013A5130	BL16XU	上原 康	
			2013B5132	BL16XU	上原 康	

作物研究 (Journal of Crop Research)

32706	Tatsuya Inamura	61 (2016) 27-31	2014B1063	BL20B2	稲村 達也	Evaluation of Shattering Habit of the Unhulled Rice Excavated from the Remains in the Early Yayoi Period by X-ray CT Measuring
-------	-----------------	--------------------	-----------	--------	-------	--

生存圏研究 (Research Institute for Sustainable Humansphere)

32227	Suyako Tazuru	12 (2016) 55-61	2011B1239	BL20XU	田鶴 寿弥子	Wood Identification of Wooden Shinto Sculptures and Shishi-Komainu in Yosano City, Kyoto Prefecture
			2009B1981	BL20XU	杉山 淳司	
			2009B1093	BL20XU	杉山 淳司	
			2008B1563	BL20XU	杉山 淳司	

セラミックス (Ceramics Japan)

32273	Yasuhiro Yoneda	51 (2016) 689-693	2016A1049	BL04B2	米田 安宏	Local Structure Analysis of Ferroelectric Materials by Collaborating XAFS and PDF
			2016A3607	BL14B1	米田 安宏	
			2016A3620	BL14B1	塚田 真也	

電子情報通信学会論文誌 C (IEICE Transactions on Electronics (Japanese Edition))

32423	Koichi Nagamoto	J99-C (2016) 530-533	2013A1815	BL14B2	永元 公市	Analysis of Ga, In Co-doped in ZnO Polycrystalline Films Structure by the Synchrotron Radiation
-------	-----------------	-------------------------	-----------	--------	-------	---

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

32243	Sadanori Ban	50 (2016) 194-200	2012B1474	BL19B2	坂 貞徳	Study of Organogel Formed from Dextrin Fatty Acid Esters and Liquid Paraffin
			2011B1864	BL19B2	佐藤 真直	
			2012A1363	BL19B2	佐藤 真直	
			2012B1533	BL19B2	佐藤 真直	
			2014A1586	BL19B2	小泉 佑果	

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

32461	Masugu Sato	17 (2016) 83-88	2013B1847	BL19B2	佐藤 真直	Non-destructive Three-dimensional Observation of Structure of Ice Grains in Frozen Food by X-ray Computed Tomography Using Synchrotron Radiation
-------	-------------	--------------------	-----------	--------	-------	--

日本物理学会誌 (Butsuri)

32420	Hiroyuki Shimada	71 (2016) 736-745	2013B3810	BL23SU	横谷 明德	A Spectroscopic Study for the Radiation Damage to Bio-Molecules under the Water Solution
-------	------------------	----------------------	-----------	--------	-------	--

有機EL討論会 第23回例会予稿集

32604	Asami Yasui	(2016)	2013A1457	BL46XU	小川 慎吾	Study on Chemical State of Alq ₃ /Al Interface by HAXPES and TOF-SIMS
			2012B1888	BL46XU	小川 慎吾	

博士論文 (大阪大学)

32287	Sun-Young Ryu	(2015)	2014A6001	BL33LEP	堀田 智明	Study of Interference between ϕ and $\Lambda(1520)$ Near the Photoproduction Threshold
32444	Mikako Takeda	(2010)	2005B5311	BL16B2	稲葉 雅之	Study on Scale Properties and High-Temperature Properties in the Steel Manufacturing Process
			2006A5311	BL16B2	稲葉 雅之	
			2006B5311	BL16B2	稲葉 雅之	
			2009A5321	BL16B2	稲葉 雅之	
32618	Koshiro Yamane	(2015)	2013A1519	BL20XU	杉山 明	時間分解 X 線イメージングによる過共晶鋳鉄および Ni 基合金の凝固形態の解明
			2012A1302	BL20XU	杉山 明	
			2012B1293	BL20XU	杉山 明	
32718	Jangwook Kim	(2016)	理研	BL29XU		Nanofocusing of X-ray Free-Electron Lasers Using Multilayer Kirkpatrick-Baez Mirrors
			2012A8056	BL3	小山 貴久	
			2012B8052	BL3	小山 貴久	
			2013A8063	BL3	小山 貴久	
			2014A8051	BL3	小山 貴久	

博士論文 (東北大学)

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
32230	Kanakano Shojiki	(2016)	2011B1685	BL13XU	崔 正焄	MOVPE Growth Behavior and the Light-Emitting Device Applications of N-polar (0001) Nitride Semiconductors
			2014A1685	BL13XU	正直 花奈子	
			2014B1725	BL13XU	正直 花奈子	
2015A1820	BL13XU	正直 花奈子				
32392	Fumihiko Matsukura	(2014)	2013B1188	BL25SU	松倉 文礼	A Study on Magnetization Control by Electric-Field in Ferromagnetic Metals

博士論文 (University of Bristol)

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
32662	David Ernsting	(2015)	2013B1355	BL08W	Dugdale Stephen	Electron Momentum Density Studies of the Electronic Structure of Complex Systems : Measurements and ab initio Calculations

博士論文 (兵庫県立大学)

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
32183	Miori Hiraiwa	(2015)	2012A3258	BL24XU	平岩 美央里	放射光 X 線を用いた窒化ガリウム結晶中の格子欠陥に関する研究
			2012B3258	BL24XU	平岩 美央里	
			2012B3371	BL08B2	平岩 美央里	

課題以外の成果として登録された論文

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A

研究成果番号	主著者	雑誌情報		ビームライン	タイトル
32341	Hirokatsu Yumoto	616 (2010) 203-206	理研	BL29XU	Stitching-Angle Measurable Microscopic-Interferometer: Surface-Figure Metrology Tool for Hard X-ray Nanofocusing Mirrors with Large Curvature
32416	Takashi Ohshima	820 (2016) 65-74	加速器		Error Compensation of IQ Modulator using Two-Dimensional DFT
32641	Hidekazu Mimura	635 (2011) S16-S18	理研	BL29XU	One-Dimensional Sub-10-nm Hard X-ray Focusing using Laterally Graded Multilayer Mirror
32658	Hiroki Nakamori	710 (2013) 93-97	理研	BL29XU	X-ray Nanofocusing using a Piezoelectric Deformable Mirror and at-Wavelength Metrology Methods

Scientific Reports

研究成果番号	主著者	雑誌情報		ビームライン	タイトル
32258	Akihiro Suzuki	6 (2016) 35060	理研	BL29XU	Dark-field X-ray Ptychography: Towards High-resolution Imaging of Thick and Unstained Biological Specimens
32668	Jiwon Jung	4 (2014) 5083	理研	BL29XU	Four-Dimensional Visualization of Rising Microbubbles
32671	Takeshi Matsumoto	4 (2014) 5620	理研	BL44B2	CO ₂ -Free Power Generation on an Iron Group Nanoalloy Catalyst via Selective Oxidation of Ethylene Glycol to Oxalic Acid in Alkaline Media
32680	So Eun Chang	5 (2015) 8760	理研	BL19LXU	Synchrotron X-ray Imaging of Pulmonary Alveoli in Respiration in Live Intact Mice

Journal of Colloid and Interface Science

研究成果番号	主著者	雑誌情報		ビームライン	タイトル
32649	Masahiro Fujita	368 (2012) 629-635	理研	BL45XU	Structural Study on Gold Nanoparticle Functionalized with DNA and its Non-Cross-Linking Aggregation
32651	Wei Yang Ooi	374 (2012) 315-320	理研	BL45XU	Structural Characterization of Nanoparticles from Thermoresponsive Poly(<i>N</i> -isopropylacrylamide)-DNA Conjugate
32660	Masanobu Murou	390 (2013) 47-53	理研	BL45XU	Self-Association of Zwitterionic Polymer-Lipid Conjugates in Water as Examined by Scattering Measurements

Journal of Synchrotron Radiation

研究成果番号	主著者	雑誌情報		ビームライン	タイトル
32418	Takashi Tanaka	23 (2016) 1273-1281	加速器		Using Irregularly Spaced Current Peaks to Generate an Isolated Attosecond X-ray Pulse in Free-Electron Lasers
32642	Rui Xu	18 (2011) 293-298	理研	BL29XU	Coherent Diffraction Microscopy at SPring-8: Instrumentation, Data Acquisition and Data Analysis
32714	Dai Takei	23 (2016) 158-162	理研	BL29XU	X-ray Collimation by the Parabolic Cylinder Mirror in SPring-8/BL29XUL

Journal of the American Chemical Society-1

研究成果番号	主著者	雑誌情報		ビームライン	タイトル
32640	Jae-Hyuk Jang	133 (2011) 6865-6867	理研	BL26B2	Fusarisetin A, an Acinar Morphogenesis Inhibitor from a Soil Fungus, <i>Fusarium</i> sp. FN80326
			理研	BL26B1	

Journal of the American Chemical Society-2

研究成果番号	主著者	雑誌情報		ビームライン	タイトル
32659	Takashi Kajitani	135 (2013) 14564-14567	理研	BL45XU	<i>o</i> -Phenylene Octamers as Surface Modifiers for Homeotropic Columnar Ordering of Discotic Liquid Crystals
32694	Hiroshi Yamagishi	137 (2015) 7628-7631	理研	BL45XU	Metal-Organic Nanotube with Helical and Propeller-Chiral Motifs Composed of a C_{10} -Symmetric Double-Decker Nanoring

Journal of the Physical Society of Japan

32335	Shigemasa Suga	79 (2010) 044713	理研	BL19LXU	Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy of Metal-Insulator Transition in V_6O_{13}
32338	Masato Kimura	79 (2010) 064710	理研	BL19LXU	Polaronic Behavior of Photoelectron Spectra of Fe_3O_4 Revealed by Both Hard X-ray and Extremely Low Energy Photons
32647	Satoshi Kitayama	81 (2012) SB055	理研	BL19LXU	Photon Energy Dependent Hard X-ray Photoemission Spectroscopy of $YbCu_2Si_2$

Nature Communications

32670	Richard Hahnke Kim	5 (2014) 3583	理研	BL44B2	Non-Volatile Organic Memory with Sub-Millimetre Bending Radius
32704	Chunji Li	6 (2015) 8418	理研 理研	BL45XU BL26B1	Macroscopic Ordering of Helical Pores for Arraying Guest Molecules Noncentrosymmetrically
32717	Kiyonobu Nagaya	7 (2016) 13477		SCSS	Interatomic Coulombic Decay Cascades in Multiply Excited Neon Clusters

Physical Review B

32333	Masaaki Obara	81 (2010) 113107	理研	BL19LXU	V-V Dimerization Effects on Bulk-Sensitive Hard X-ray Photoemission Spectra for Magnéli Phase Vanadium Oxides
32656	M. Sperlich	87 (2013) 235138	理研	BL19LXU	Intrinsic Correlated Electronic Structure of CrO_2 Revealed by Hard X-ray Photoemission Spectroscopy
32678	Y. Yamasaki	91 (2015) 100403(R)	理研	BL19LXU	X-ray Induced Lock-in Transition of Cycloidal Magnetic Order in a Multiferroic Perovskite Manganite

Physical Review Letters

32337	Yoshiki Kohmura	104 (2010) 244801	理研	BL19LXU	Berry-Phase Translation of X Rays by a Deformed Crystal
32473	M. Okawa	104 (2010) 247201	理研	BL29XU	Strong Valence Fluctuation in the Quantum Critical Heavy Fermion Superconductor β - $YbAlB_4$: A Hard X-Ray Photoemission Study
32663	Yoichi Yamamoto	112 (2014) 187603	理研	BL17SU	Time- and Angle-Resolved Photoemission Spectroscopy of Hydrated Electrons Near a Liquid Water Surface

AIP Conference Proceedings

32349	Takashi Kameshima	1741 (2016) 040033	理研 理研	BL29XU BL3	A Scintillator Fabricated by Solid-State Diffusion Bonding for High Spatial Resolution X-ray Imaging
32454	Keiichi Osaka	1741 (2016) 030003	理研	BL19B2	High-Throughput and Automated SAXS/USAXS Experiment for Industrial Use at BL19B2 in SPring-8

Journal of Physics: Conference Series

32636	Taiki Hoshino	272 (2011) 012020	理研	BL19LXU	X-ray Photon Correlation Spectroscopy of Silica Particles Grafted with Polymer Brush in Polystyrene Matrix
32637	Yoshihito Tanaka	278 (2011) 012018	理研	BL19LXU	Time-Resolved X-ray Diffraction Studies of Laser-Induced Acoustic Pulse Generation in Semiconductors using Synchrotron Radiation

Nature

32330	Olivier Cyr-Choinière	458 (2009) 743-745	理研	BL19LXU	Enhancement of the Nernst Effect by Stripe Order in a High- T_c Superconductor
32691	Mingjie Liu	517 (2015) 68-72	理研	BL45XU	An Anisotropic Hydrogel with Electrostatic Repulsion between Cofacially Aligned Nanosheets

Polymer Degradation and Stability-1

32643	Jiaqi Zhang	96 (2011) 2130-2138	理研	BL45XU	Mechanical Properties, Structure Analysis and Enzymatic Degradation of Uniaxially Cold-Drawn Films of Poly[(<i>R</i>)-3-hydroxybutyrate- <i>co</i> -4-hydroxybutyrate]
-------	-------------	------------------------	----	--------	--

Polymer Degradation and Stability-2

研究成果番号	主著者	雑誌情報		ビームライン	タイトル
32675	Jiaqi Zhang	110 (2014) 529-536	理研	BL45XU	Crystallization Behaviors of Poly[(<i>R</i>)-3-hydroxybutyrate- <i>co</i> -4-hydroxybutyrate]/poly(ethylene glycol) Graft TEMPO-oxidized Cellulose Nanofiber Blends

Review of Scientific Instruments

32340	Takashi Kimura	81 (2010) 123704	理研	BL29XU	Wavefield Characterization of Nearly Diffraction-Limited Focused Hard X-ray Beam with Size Less than 10 nm
32683	Takumi Goto	86 (2015) 043102	理研	BL29XU	Hard X-ray Nanofocusing using Adaptive Focusing Optics Based on Piezoelectric Deformable Mirrors

ACS Catalysis

32667	Zhiqi Cong	5 (2015) 150-156	理研	BL26B2	Activation of Wild-Type Cytochrome P450BM3 by the Next Generation of Decoy Molecules: Enhanced Hydroxylation of Gaseous Alkanes and Crystallographic Evidence
-------	------------	---------------------	----	--------	---

ACS Macro Letters

32700	Yuta Koda	4 (2015) 377-380	理研	BL45XU	Star Polymer Gels with Fluorinated Microgels via Star-Star Coupling and Cross-Linking for Water Purification
-------	-----------	---------------------	----	--------	--

ACS Symposium Series

32650	Toshihisa Tanaka	1114 (2012) 171-185	理研	BL45XU	Physical Properties, Structure Analysis, and Enzymatic Degradation of Poly[(<i>R</i>)-3-hydroxybutyrate- <i>co</i> -(<i>R</i>)-3-hydroxyvalerate] Films and Fibers
-------	------------------	------------------------	----	--------	--

Acta Crystallographica Section F

32639	Fumiyoshi Okazaki	67 (2011) 779-781	理研	BL26B1	Expression, Crystallization and Preliminary X-ray Diffraction Studies of Thermostable β -1,3-xylanase from <i>Thermotoga neapolitana</i> Strain DSM 4359
-------	-------------------	----------------------	----	--------	--

Biomacromolecules

32721	Kenjiro Yazawa	17 (2016) 1057-1066	理研	BL45XU	Influence of Water Content on the β -Sheet Formation, Thermal Stability, Water Removal, and Mechanical Properties of Silk Materials
-------	----------------	------------------------	----	--------	---

Biophysics

32692	Atsushi Mukaiyama	11 (2015) 79-84	理研	BL45XU	A Protocol for Preparing Nucleotide-Free KaiC Monomer
-------	-------------------	--------------------	----	--------	---

Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry

32661	Yuichi Shigeoka	77 (2013) 1637-1644	理研	BL45XU	Salt-Induced Changes in the Subunit Structure of the <i>Bacillus stearothermophilus</i> Lipoate Acetyltransferase
-------	-----------------	------------------------	----	--------	---

Brain Structure and Function

32669	Jin Kyung Kim	220 (2015) 2263-2273	理研	BL29XU	Dendritic Planarity of Purkinje Cells is Independent of Reelin Signaling
-------	---------------	-------------------------	----	--------	--

Chemical Science

32720	Masaaki Sadakiyo	7 (2016) 1349-1356	理研	BL44B2	A Significant Change in Selective Adsorption Behavior for Ethanol by Flexibility Control through the Type of Central Metals in a Metal-Organic Framework
-------	------------------	-----------------------	----	--------	--

Current Opinion in Structural Biology

32648	Javier Pérez	22 (2012) 670-678	理研	BL29XU	Advances in X-ray Scattering: from Solution SAXS to Achievements with Coherent Beams
-------	--------------	----------------------	----	--------	--

The EMBO Journal

32652	Yoshinori Nishino	31 (2012) 1644-1653	理研	BL45XU	Human Mitotic Chromosomes Consist Predominantly of Irregularly Folded Nucleosome Fibres without a 30-nm Chromatin Structure
			理研	BL29XU	

International Journal of Photoenergy

32676	Kenji Kinashi	2014 (2014) 236382	理研	BL45XU	Reversible Visualization for Synchrotron Radiation Using Photochromic Dye and Photostimulable Phosphor Composite Film
-------	---------------	-----------------------	----	--------	---

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
32654	Akira Sekiyama	190 (2013) 201-204	理研	BL19LXU	Polarization-Dependent Hard X-ray Photoemission Spectroscopy of Solids

Journal of Nanoscience and Nanotechnology

32635	Akira Saito	11 (2011) 2785-2792	理研	BL19LXU	Numerical Analysis on the Optical Role of Nano-Randomness on the <i>Morpho</i> Butterfly's Scale
-------	-------------	------------------------	----	---------	--

Langmuir

32702	Katsuhiko Kanaizuka	31 (2015) 10327-10330	理研	BL45XU	Observation of an Orientation Change in Highly Oriented Layer-by-Layer Films of a Ruthenium Complex upon Oxidation Reaction
-------	---------------------	--------------------------	----	--------	---

Macromolecular Bioscience

32722	Yinan Ma	16 (2016) 151-159	理研	BL45XU	Chemoenzymatic Synthesis of Oligo(L-cysteine) for Use as a Thermostable Bio-Based Material
-------	----------	----------------------	----	--------	--

Microscopy

32666	Akira Saito	63 (2014) i14-i15	理研	BL19LXU	X-ray STM: Nanoscale Elemental Analysis & Observation of Atomic Track
-------	-------------	----------------------	----	---------	---

Molecular Cell

32695	Young-Min Soh	57 (2015) 290-303	理研	BL45XU	Molecular Basis for SMC Rod Formation and Its Dissolution upon DNA Binding
-------	---------------	----------------------	----	--------	--

Nature Materials

32693	Youn Soo Kim	14 (2015) 1002-1007	理研	BL45XU	Thermoresponsive Actuation Enabled by Permittivity Switching in an Electrostatically Anisotropic Hydrogel
-------	--------------	------------------------	----	--------	---

Nature Physics

32472	Hidekazu Mimura	6 (2010) 122-125	理研	BL29XU	Breaking the 10 nm Barrier in Hard-X-ray Focusing
-------	-----------------	---------------------	----	--------	---

New Journal of Physics

32655	Junichi Yamaguchi	15 (2013) 043042	理研	BL19LXU	Different Evolution of the Intrinsic Gap in Strongly Correlated SmB_6 in Contrast to YbB_{12}
-------	-------------------	---------------------	----	---------	---

Nucleic Acids Research

32685	Takeshi Shinohara	43 (2015) 973-986	理研	BL44B2	Loop L1 Governs the DNA-Binding Specificity and Order for RecA-Catalyzed Reactions in Homologous Recombination and DNA Repair
-------	-------------------	----------------------	----	--------	---

Optics Express

32682	Satoshi Matsuyama	23 (2015) 9746-9752	理研	BL29XU	Achromatic and High-Resolution Full-Field X-ray Microscopy Based on Total-Reflection Mirrors
-------	-------------------	------------------------	----	--------	--

Physical Review A

32716	James Harries	94 (2016) 063416		SCSS	Single-Atom Response of Helium Atoms to Pulses from an EUV Free-Electron Laser: Implications for the Subsequent Development of Superfluorescence
-------	---------------	---------------------	--	------	--

Physical Review Special Topics - Accelerators and Beams

32417	Yuji Otake	19 (2016) 022001	加速器		Timing and Low-Level rf System for an X-ray Laser
-------	------------	---------------------	-----	--	---

Polymer

32645	Pengju Pan	52 (2011) 895-900	理研	BL45XU	DNA-Functionalized Thermoresponsive Bioconjugates Synthesized via ATRP and Click Chemistry
-------	------------	----------------------	----	--------	--

Proceedings of SPIE

32681	Taro Sakao	9603 (2015) 96030U	理研	BL29XU	Development of Precision Wolter Mirrors for Future Solar X-ray Observations
-------	------------	-----------------------	----	--------	---

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

研究成果番号	主著者	雑誌情報		ビームライン	タイトル
32332	C. Huang	107 (2010) E45	理研	BL17SU	Reply to Soper et al.: Fluctuations in Water around a Bimodal Distribution of Local Hydrogen-Bonded Structural Motifs

Royal Society Open Science

32686	Takashi Kosone	2 (2015) 150006	理研	BL44B2	Coordination Nano-Space as Stage of Hydrogen Ortho-Para Conversion
-------	-------------------	--------------------	----	--------	--

Solid State Sciences

32684	Eiji Nishibori	47 (2015) 27-31	理研	BL44B2	Revisit: High Resolution Charge Density Study of α -rhombohedral Boron using Third-Generation SR Data at SPring-8
-------	----------------	--------------------	----	--------	--

Structure

32674	Yohei Hizukuri	22 (2014) 326-336	理研	BL45XU	A Structure-Based Model of Substrate Discrimination by a Noncanonical PDZ Tandem in the Intramembrane-Cleaving Protease RseP
-------	-------------------	----------------------	----	--------	--

Thin Solid Films

32688	Kouki Akaike	583 (2015) 34-39	理研	BL45XU	An Electron-Accepting Molecular Unit Exhibiting an Orientational Preference Favorable for Organic Photovoltaic Applications
-------	-----------------	---------------------	----	--------	---

生産と技術 (Manufacturing & Technology)

32727	Akira Saito	65 (2013) 33-37	理研	BL19LXU	Nanoscale Chemical Analysis and Control by Synchrotron-Radiation-based STM
-------	-------------	--------------------	----	---------	--

博士論文 (大阪大学)

32719	Taito Osaka	(2016)	理研	BL29XU	X線励起超高速ダイナミクス測定のための硬X線分割・遅延光学系の開発
			装置技術	BL3	

SACLA BL1 共用開始について

国立研究開発法人理化学研究所 放射光科学総合研究センター
XFEL 研究開発部門 大和田 成起

1. はじめに

世界初のコンパクト XFEL である SACLA^[1] は、2011 年 6 月に光子エネルギー 10 keV で初のレーザー発振を観測した。2012 年 3 月からは、軟 X 線領域の自発放射光ビームライン BL1 と、XFEL ビームライン BL3 の 2 本のビームラインでユーザー運転を開始している。これまでに BL3 では SACLA の特色を生かした様々な研究成果が得られている^[2-5]。また 2015 年 4 月には、2 番目の XFEL ビームラインである BL2 のユーザー運転を開始した。BL2 と BL3 への高速振り分け運転試験など、さらなる利用拡大へ向けた取り組みが続けられている^[6]。一方で、自発光であること、高エネルギー電子ビームを必要としない軟 X 線領域での運転は XFEL 運転と排他的であること、などの理由から、これまで BL1 では積極的な利用運転が殆どなされてこなかった。軟 X 線 FEL (SXFEL) の本格利用を実現するために、2014 年度より、SACLA のプロトタイプ機として活用された SCSS 試験加速器 (SCSS)^[7] を増強しながら SACLA に移設し、SXFEL 専用加速器 SCSS+ として運用するための整備を開始した。2015 年 9 月からコミッショニングを開始し、同年 10 月には早くもレーザー発振が観測された。世界初となる XFEL と SXFEL の同時並行運転が可能となったことにより、FEL の利用機会の大幅な増加が見込まれている。

SCSS とは、世界初のコンパクト XFEL を実現するためのプロトタイプ機として、SPRING-8 サイト内に 2005 年に建設された線形加速器である。2006 年には、光子エネルギー 25 eV でのレーザー増幅を達成し、2008 年からは加速器の R&D と並行して極端紫外 FEL の利用運転も行われた。コンパクト XFEL 加速器の検証と、FEL 利用の R&D という 2 つの重要なミッションを達成した SCSS は、2013 年に運用を一旦停止したが、今回の移設により再活用されることになった。

本稿では、SXFEL ビームラインとして新たに共用が開始された SACLA BL1 の現状について報告する。

2. SXFEL の構成

2.1 光源

SCSS は、SACLA 光源棟内の BL1 振り分け部上流の約 100 m の空きスペースに移設された (図 1)。さらに、2016 年夏季停止期間までに、計 3 台の C バンド加速ユニットを追加した。この結果、最大電子ビームエネルギーは 250 MeV から約 800 MeV へと増加した。また、3 台のアンジュレータがインストールされている。2017 年 1 月時点では、電子ビームエネルギー (400 MeV~800 MeV) と K 値 (1.5~2.1) を変えることにより、光子エネルギー ($h\nu$) として 20 eV~150 eV 程度の範囲が利用可能となっている。

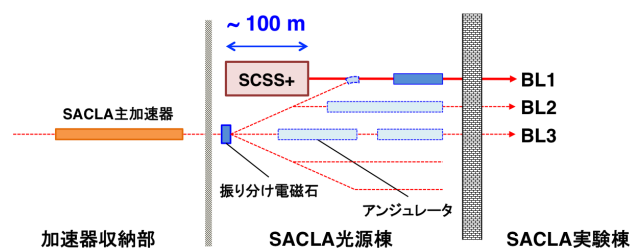


図 1 SACLA 振り分け部の図面。

2.2 光ビームライン

BL1 ビームラインには、光学ハッチ内に、YAG スクリーン、フォトダイオード、ガス強度モニター、スペクトロメーターなどのビーム診断機器やガスアッテネーター、基本波と高調波を選別するための金属薄膜フィルターなどの光学機器がインストールされている (図 2)。これらのビームライン機器は、BL2/3 と同様に実験ステーションから操作することが可能である。なお、ガス強度モニターおよびガスアッテネーターのチャンバーには、直径 6 mm の差動排気用オリフィスが設置されている。光子エネルギー $h\nu = 100$ eV では、オリフィスの透過率は約 90% であるが、長波長運転時は光の発散角が大き

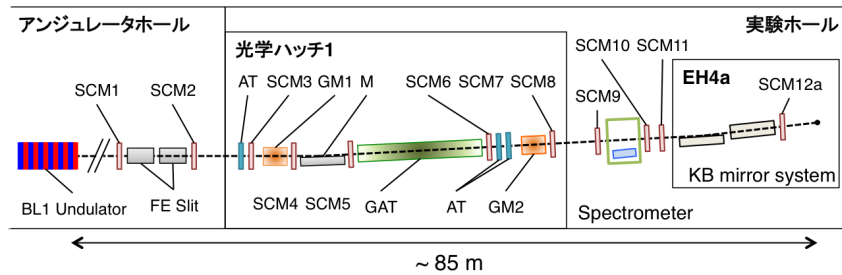


図2 BL1 ビームライン光学系配置図。FE slit: フロントエンドスリット、SCM: YAG スクリーン・PD 複合モニター、AT: 金属薄膜フィルター、GM: ガス強度モニター、GAT: ガスアッテネーター、M: 平面ミラー。

くなるため、例えば、 $h\nu = 40 \text{ eV}$ では透過率は約50%と低下する。

ビームライン最下流部には、実験ステーションを設置し、波長可変フェムト秒同期レーザーシステムおよびKB集光ミラーを基幹実験装置として常設した。金ワイヤーによるナイフエッジスキャン法による測定では、集光ビームサイズは約 $10 \mu\text{m}$ (FWHM)となっている。

2.3 光性能

2016年11月現在、電子ビームエネルギー800 MeV、K値2.1のときに、 $h\nu \sim 100 \text{ eV}$ ($\Delta E/E \sim 2\%$ in FWHM)の光が得られている。また、ガス強度モニターによる測定では、平均して約 $80 \mu\text{J}$ /pulseのエネルギーが得られている。なお、ガス強度モニターの較正には、産総研で開発された常温型カロリメーター^[8]を使用した。

3. まとめと将来計画

SACLA BL1は、2016年4月にSXFELビームラインと名称を変更し、2016年7月よりSXFELの共用運転を開始した。続く2016B期には7課題が採択されている。

今後の開発項目として、FELと同期レーザーのタイミングジッターによる時間分解能低下を補償するための到着時間モニター^[9]や、FELスペクトルの非破壊計測が可能なオンライン型スペクトロメーターなどのビーム診断機器の導入を予定している。本ビームラインの最新の情報は、SACLAホームページ (<http://xfel.riken.jp>) を通じて随時発信していくので、参照されたい。

謝辞

本プロジェクトは、理化学研究所放射光科学総合研究センター、および、高輝度光科学研究センターを中心とするタスクフォースによって実施された。

参考文献

- [1] T. Ishikawa *et al.*: *Nat. Photon.* **6** (2012) 540-544.
- [2] M. Suga *et al.*: *Nature* **517** (2015) 99-103.
- [3] H. Yoneda *et al.*: *Nature* **524** (2015) 446-449.
- [4] K. H. Kim *et al.*: *Nature* **518** (2015) 385-389.
- [5] E. Nango *et al.*: *Science* **354** (2016) 1552-1557.
- [6] T. Hara *et al.*: *Phys. Rev. Accel. Beams* **19** (2016) 020703.
- [7] T. Shintake *et al.*: *Nat. Photon.* **2** (2008) 555-559.
- [8] T. Tanaka *et al.*: *Rev. of Sci. Instrum.* **86** (2015) 093104.
- [9] T. Katayama *et al.*: *Struct. Dyn.* **3** (2016) 034301.

大和田 成起 *OWADA Shigeki*

(国)理化学研究所 放射光科学総合研究センター 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 ext 7807
e-mail : osigeki@spring8.or.jp

SPring-8 ユーザー協同体 (SPRUC) 活動報告

SPring-8 ユーザー協同体 (SPRUC) 庶務幹事

国立研究開発法人理化学研究所 放射光科学総合研究センター
杉本 宏

SPring-8 ユーザー協同体 (SPRUC) は2016年4月から中川敦史会長 (大阪大学) の体制がスタートしました。会員の皆さまの SPRUC 研究会への登録促進のキャンペーンや分野融合型の研究グループの活動が進んでおり、関西学院大学での SPring-8 シンポジウム2016も盛況のうちに終わりました。本稿では最近の SPRUC の活動状況についてご紹介します。

1. 分野融合型研究グループの活動について

研究会組織検討作業部会の提案を受けて、将来重要となる未踏分野における SPring-8 の利用の掘り起こしを目的とした「分野融合型研究グループ」が2015年度より発足しました。新しい研究グループによってイノベーションのシーズとなる融合分野の創成から放射光利活用を活性化する役割を担います。

大野英男教授 (東北大学) がプログラムオフィサー (PO) を務める「ナノデバイス科学」研究グループでは、実用スピントロニクス創成を目指して、種々の放射光ツールを駆使した包括的なアプローチでナノスケールの解析を行っています。2015年から定期的に研究会を開催し、SPring-8 利用実験の報告や、新しい高性能機能性材料のデザイン・ナノデバイス創成に向けたアイデアを議論しています。

(http://www.spring8.or.jp/ext/ja/spruc/SG_SPRUC_info/nano_device.html)

高尾正敏教授 (大阪大学) が PO を務める「実用」研究グループでは、様々な学術分野や企業の研究者・技術者が集まって、固液界面に関する課題を共有し、新たな学理を究明して開発現場にフィードバックすることを目指しています。2016年にスタートしたばかりですが、いくつかの共同研究を開始しています。2017年の初頭には、固液界面の物理に関連した理論研究、および応用研究について、外部から講

演者を招待した会合を開催予定です。

(http://www.spring8.or.jp/ext/ja/spruc/SG_SPRUC_info/practical_app.html)

後藤俊男先生 (理化学研究所) が PO を務める「原子分子生命科学」研究グループでは、精密構造・電子状態・ゆらぎ解析を視野に入れた分野横断的なテーマを掲げており、将来の創薬プロセスに活用できるシーズを生み出すことを目指します。今年から本格的に活動を進めていく予定です。「分子機能性材料」研究グループは計画段階ですので、組織体制を含めて検討していきます。

2. ビームライン高性能化検討作業部会の発足

SPring-8 次期計画として提案されている加速器光源の利用を想定した検出器や測定システムの開発が進んでいる中で、今後の利用研究展望について、ユーザーの立場からの検討・協議が急務です。これらに関して、具体的な提言をまとめることを目的として、2016年12月に新しい作業部会「ビームライン高性能化検討作業部会」(責任者: 関西学院大学 藤原明比古教授) が発足しました。2016年12月23日に第一回会合を開催し、作業部会メンバーで方針や議論のポイントを確認し、JASRI から共用ビームラインの整備状況の情報提供を受けました。今後、中・長期的な方向性を見いだすために、国際的な競争力を持った利用成果創出のために期待される利用研究のあり方について、各研究会からの意見および情報収集を行うこととしました。

(http://www.spring8.or.jp/ext/ja/spruc/WG_SPRUC_info/WG_advanced_research.html)

3. 第6回 SPring-8 ユーザー協同体 評議員選挙

SPRUC の活動・運営について掌握する SPRUC 評議員は2年任期、1年毎の半数改選となっています。SPRUC の各代表機関から推薦された候補者を

対象として、全会員に投票権があります。2017年3月末で任期満了を迎える評議員の改選選挙が2016年12月5日～12月26日の日程で行われました。その結果、学術機関所属の10名と産業機関所属の5名が選出されました。

(http://www.spring8.or.jp/ext/ja/spruc/elected_person_6th.html)

杉本 宏 *SUGIMOTO Hiroshi*

(国)理化学研究所 放射光科学総合研究センター

〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1

TEL : 0791-58-2817

e-mail : sugimoto@spring8.or.jp

第25回 SPring-8 施設公開のご案内

理化学研究所 放射光科学総合研究センターは、播磨キャンパス内で今年も「施設公開」を下記のとおり開催いたします。この施設公開は、周辺地域のみなさまに施設とその成果をご覧いただき、研究活動について理解を深めていただくために、科学技術週間にちなんで毎年4月下旬に開催しているものです。

今年は「Meet the Scientists」をテーマに、SPring-8を1周まるごと開放し、施設で働いている科学者と話すことで、科学をより身近に感じていただけるようなイベントを企画しております。

みなさまのご来場をお待ちしております。

記

- ◎日 時：平成29年4月30日（日）
9時30分～16時30分（受付は15時30分まで）
- ◎場 所：理化学研究所 播磨キャンパス
- ◎内 容：装置・施設の公開、講演会、研究成果紹介、各種イベント
- ◎入 場 料：無料

【問い合わせ先】

理化学研究所 放射光科学総合研究センター
TEL：0791-58-0909 FAX：0791-58-2898
e-mail：openseite@spring8.or.jp



前回の施設公開の様子

第 17 回 SPring-8 夏の学校 開催のご案内 —最先端の放射光科学を学ぶ—

開催日：2017年7月9日(日)～12日(水)

場所：大型放射光施設 SPring-8 (兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1)

カリキュラム概要：基礎講座／ビームライン実習

募集定員：80名程度

参加費：無料(但し宿泊費・交通費等は自己負担)

対象：■大学院修士(博士前期)課程の学生。

(人数に余裕があれば学部4年生も受け入れます。)

■所属大学で放射線業務従事者として教育を受け、登録されていること。

■主催大学の推薦枠あり。

参加登録受付期間：4月17日(月) 10:00～5月12日(金) 17:00まで(予定)

参加登録：WEBでのOn-line登録による参加申し込みとなります。(予定)

(応募者多数の場合は参加登録の内容をもとに選考させていただきます。)

詳しくはSPring-8ウェブサイトをご覧ください。

(Webサイトは3月下旬頃にオープン予定)

主催(予定)：兵庫県立大学大学院 物質理学研究科・生命理学研究科

関西学院大学大学院 理工学研究科

東京大学 放射光分野融合国際卓越拠点

岡山大学大学院 自然科学研究科

大阪大学 光科学連携センター・蛋白質研究所・核物理研究センター

(公財)高輝度光科学研究センター

理化学研究所 放射光科学総合研究センター

日本原子力研究開発機構 物質科学研究センター

量子科学技術研究開発機構 放射光科学研究センター

後援(予定)：SPring-8ユーザー協同体 (SPRUC)

問い合わせ先：SPring-8夏の学校事務局

(公財)高輝度光科学研究センター 利用推進部 普及啓発課

TEL：0791-58-2785 FAX：0791-58-2786

e-mail：2017summerschool@spring8.or.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	淡路 晃弘	利用推進部
	池本 夕佳	利用研究促進部門
	大橋 治彦	光源・光学系部門
	大端 通	制御・情報部門
	小金澤智之	産業利用推進室
	小瀬川奉久	企画調整部
	佐々木茂樹	加速器部門
	杉本 正吾	利用推進部
	田中 義人	SPring-8ユーザー協同体 (SPRUC) 編集幹事 (兵庫県立大学)
	丹下 慶範	利用研究促進部門
	長谷川和也	タンパク質結晶解析推進室
	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
	前川 照夫	利用推進部
	山本 律	利用推進部

SPring-8/SACLA 利用者情報

Vol.22 No.1 February 2017

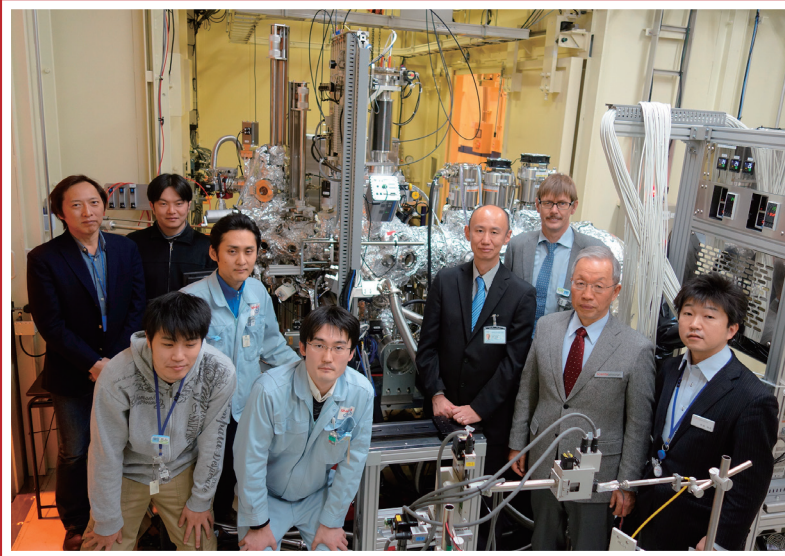
SPring-8/SACLA Information

発行日 平成29年(2017年)2月15日

編集 SPring-8/SACLA 利用者情報編集委員会

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

(禁無断転載)



BL24XU NAP-HAXPES実験装置と
装置利用に関係する研究者ならびにスタッフ

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/>