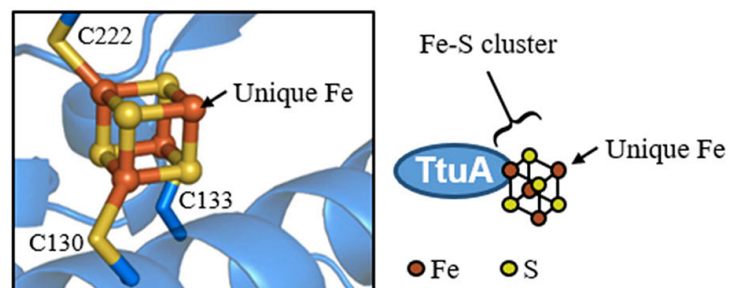
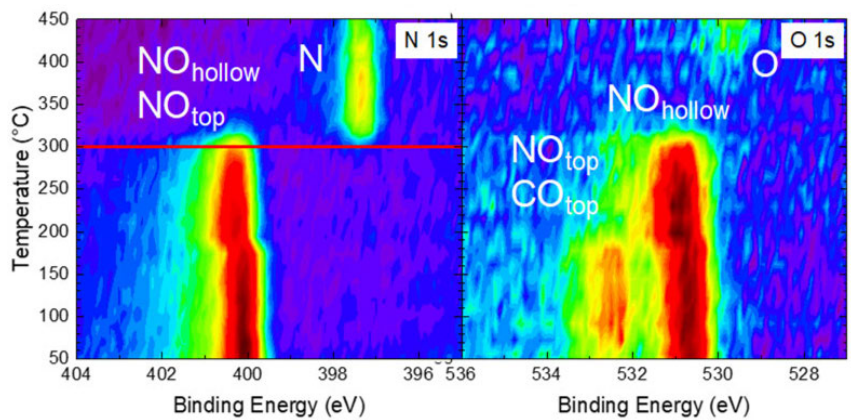
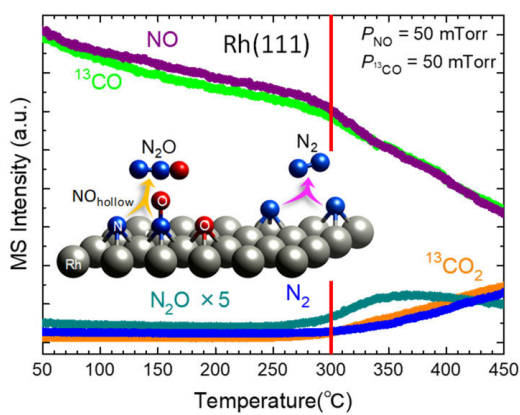


- 軟X線in-situ/オペランド光電子分光による触媒解析
- 熱プロセスにおける有機ハロゲン化合物と重金属の関係

2018年度量子ビームサイエンスフェスタ 学生奨励賞受賞論文

- 鉄硫黄クラスターが関与するtRNAチオ化修飾酵素の詳細な反応機構解明を目指した研究



目次

施設だより	船守 展正	1
現 状		
入射器の現状	古川 和朗	2
光源の現状	小林 幸則	3
放射光実験施設の現状	船守 展正	7
放射光科学第一, 第二研究系の現状	雨宮 健太	8
最近の研究から		
軟 X 線 in-situ/ オペランド光電子分光による触媒解析 Analysis of Catalysis by Soft-x-ray in-situ/operando Photoelectron Spectroscopy 近藤 寛, 吉信 淳, 小澤 健一, 間瀬 一彦		9
熱プロセスにおける有機ハロゲン化合物と重金属の関係 Relationship between Organohalogen Compounds and Heavy Metals during Thermal Processes 藤森 崇, 塩田 憲司, 張 夢玫, 板井 啓明, 高岡 昌輝		14
鉄硫黄クラスターが関与する tRNA チオ化修飾酵素の詳細な反応機構解明を目指した研究 Studies on the Detailed Reaction Mechanism of tRNA Thiolation Enzymes Involved in Iron-Sulfur Clusters 石坂 優人, 陳 明皓, 奈良井 峻, 堀谷 正樹, 田中 良和, 姚 関		20
プレスリリース		
ナノ磁気渦形成の定説を覆す物質の開発に成功ー磁気フラストレーションを利用して創発電磁気応答を巨大化ー		25
超高速の分子振動の高精度観測に成功ー原子レベルの時空間分解能で分子動画を作成ー		25
室温で磁場により電気が 100 倍流れ易くなる物質を発見		26
「ストライプ照射」だと放射線の影響は軽減されるー放射線の当たり方が一様でない場合, 従来の単純な予測は当てはまらないー		26
遺伝情報の読み取りを強化する tRNA のメチル化の仕組みを構造解析と生化学解析により解明 ー真核生物 Trm7-Trm734 複合 tRNA メチル化酵素の基質 tRNA 選択性とサブユニットの役割ー		27
研究会等の開催・参加報告		
PF 研究会「BioSAS が拓く生体高分子の分子間相互作用解析の最前線」開催報告 清水 伸隆, 井上倫太郎, 杉山 正明, 上久保裕生		28
VUVX19に参加して	若林 大佑	30
対称性・群論トレーニングコース開催報告	五十嵐教之	31
Impression on the 8th Training Course on Symmetry and Group Theory	Xuejing HE	33
FEL2019会議報告	加藤 龍好, 本田 洋介	33
第22回XAFS討論会に参加して	太田 路子	34
ユーザーとスタッフの広場		
DESY滞在記ー生活スタート編ー	石井 晴乃	36
SOLEIL滞在記	山本 尚人	37
PF滞在記 BL-3Aを利用したGd ₃ Ru ₄ Al ₁₂ における三量体形成の観測	尾園 優作	39
PF滞在記 KEKに居候	荒牧 慎二	40
クライオ電顕ネットワーク・ユーザーグループ発足のご紹介	田中 良和	41
PFトピックスー覧(8月~10月)		41
【訃報】元フォトンファクトリー施設長・佐々木泰三先生がご逝去されました		42
PF-UAだより		
粉末回折ユーザーグループ紹介	植草 秀裕	43
高圧ユーザーグループ紹介	高橋 博樹, 亀卦川卓美, 関根ちひろ, 久保 友明, 鍵 裕之	44
令和元年度第1回PF-UA幹事会議事録		46
令和元年度第1回PF-UA運営委員会議事録		46
PF-UAの集い 開催のご案内		47
人 事		
人事異動		48
お知らせ		
2019年度量子ビームサイエンスフェスタ(第11回MLFシンポジウム/第37回PFシンポジウム)開催のお知らせ 野澤 俊介, 松浦 直人		55
第2回クライオ電顕ネットワーク・ユーザーグループミーティング開催案内	安達 成彦	55
PF研究会「XAFS・X線顕微鏡分光分析分野でのIMSS, PF戦略的利用に関する研究会」開催案内	木村 正雄	55
PF研究会「量子ビームを活用した食品科学」開催案内	瀬戸 秀紀	56
「2019年度タンパク質結晶構造解析初心者向け講習会」開催および参加者募集のお知らせ 加藤 龍一, 松垣 直宏		56
2020年4月入学 物質構造科学専攻博士課程(5年一貫制)及び3年次編入 学の最終募集のお知らせ 岸本 俊二		57
高エネルギー加速器研究機構 研究系 技術職員インターンシップについて		57
2020年度前期 フォトン・ファクトリー研究会の募集	船守 展正	57
予定一覧		58
運転スケジュール(Dec.2019~Mar.2020)		59
掲示板		
PAC速報	兵藤 一行, 宇佐美徳子	60
物構研談話会・コロキウム		61
第115回 物質構造科学研究所運営会議議事次第		61
編集委員会だより		62
巻末情報		63
表紙説明 (上) Rh 表面における NO 還元反応の質量分析および XPS によるオペランド計測「軟 X 線 in-situ/ オペランド光電子分光による触媒解析」より (下左) 熱プロセスに潜む有機ハロゲン化合物(R-X)生成の仕組み(写真は廃電気・電子製品の野焼きサイト)「熱プロセスにおける有機ハロゲン化合物と重金属の関係」より (下右) 3つの鉄だけ TuA (tRNA 硫黄修飾酵素) に結合している [4Fe-4S] 型鉄硫黄クラスター「鉄硫黄クラスターが関与する tRNA チオ化修飾酵素の詳細な反応機構解明を目指した研究」より		

「フォトンファクトリー新体制発足記念講演会～PF REBORN 2019～」の報告から始めたいと思います。この講演会は、現在を放射光の第二黎明期ととらえ、関係者が一堂に会して、第二黎明期を牽引するための構想をブラッシュアップすることを目的に、7月20日に開催されました。当日は、PFの黎明期を支えた世代から若手まで、100名を超える参加があり、放射光学術基盤ネットワークを形成するUVSORとHiSORの代表、PF-UAの会長より、それぞれ、PFへの期待の言葉を頂きました。私からは、黎明期を特徴づける開発研究を重視して世界を先導する新技術と人材を供給すること、および、先端基盤施設として引き続き多様な利用研究を支えることがPFの使命であり、その遂行のための将来計画の方向性として、『光源性能の先端性追求において、輝度偏重から脱却し、FlexibilityとStabilityの両立による許容度の重視に転換する。許容度の向上は、ビームラインで展開される実験手法の多様性に直結する。これにより、新しい実験手法を模索し（第二黎明期の開発研究）、「研究者の知的探究心や自由な発想に基づき自主的・自律的に展開される知的創造活動」である学術研究を推進する。』を提案させて頂きました。直近の計画として、PFリング高度化（PF Upgrade 2020: Renovated Multipurpose SR-Ring with Only One and Number One Beamlines）に加えて、開発研究専用ビームライン（Hard and Soft X-ray Beamlines Dedicated for R&D）の整備を検討しています。

学術施設における開発研究は、利用者と施設スタッフが共同して進めることに特徴がありますが、広い分野での利用が期待される開発研究については、PFとしてのプロジェクトを設定して推進することにしました。これまでに、PFリング高度化との親和性も高い「3次元X線ズーム顕微鏡の開発」と「多目的軟X線時間分解計測システムの開発」の2つのプロジェクトを設定しました。次段落で述べる運転時間の確保が優先であり、最低限のスタートアップ経費しか用意できていませんが、両者とも、2-3年程度の期間での実用化を目指しています。

開発研究を通じた人材育成や先端基盤施設としての多様な利用研究の推進には十分な運転時間を確保することが欠かせません。特に人材育成の観点から、安定した運転が保証されていないことは、極めて重大な問題です。私の前職は大学の教員ですが、学生が研究室に配属されてから学位を取得して卒業するまでの期間全体のことを考慮して指導にあたっていました。予算不足から運転時間が削減され、10月になっても年度内の運転が確定していないような施設の利用を中心とした研究テーマについては、回避せざるを得なかったであろうと思います。開発研究も含め、新規プロジェクトを推進するための予算が競争的であることは、過度に競争的でなければ適切なことと思いますが、大学共同利用機関が運営する学術施設の最低限の運転時間を確保するための予算については基盤的（固定的）であるべ

きです。PFの予算も10年前までは潤沢であり、削減の余地があったのは事実だと思います。しかし、PFからの説明が不足したために、最低限の基盤的な経費までもが、誤って削減されてしまったものと想像します。適正な予算への回復には時間が掛かるかも知れませんが、現在、関係各所に丁寧な説明を行っているところです。

次に、放射光共同利用実験審査委員会（PF-PAC）の報告をしたいと思います。PF-PACは、物構研運営会議のもとに設置された委員会で、現在の委員数は、機構外25名、機構内12名となっています。名称からも想像されるように共同利用実験の課題審査を行います。これに加えて、「放射光を利用する研究計画に関する重要事項を審議することが任務として規定されています。したがって、PFの利用プログラムの変更などには、この委員会での審議が必要になります。従来は、年2回、課題審査の時期に開催されてきましたが、当然、課題審査の終了後には、重要事項を審議するための十分な時間は残っていません。今年度の第一回の委員会は7月25日に開催されましたが、その委員会において、2019-2020年度について、年4回の開催とすることをお認め頂きました。ビームタイム配分の公平性と透明性の更なる改善、課題審査における関係者の負担軽減、PFとしての戦略的な取り組みの推進などを目的とした制度の整備・修正を行っていきます。10月2日に開催された第二回の委員会では、具体的に、利用プログラムと審査方法、分科会、旅費支給基準などについての意見交換を行いました。今後、見直すべきところは見直し、残すところは残すための検討を進め、次回以降の委員会で結論を出していく予定です。

最後に、PF研究棟2階エントランスホールの什器の更新と1階ユーザー控室の様様替えを実施したことを報告します。利用者の皆さんに少しでも気持ちよく過ごして頂けるように、少しずつではありますが、環境整備も進めたいと考えています。ご提案などありましたら、是非、お聞かせください。

入射器の現状

加速器第五研究系研究主幹 古川和朗
(2019年11月5日付け)

概要

7月1日から9月23日までの夏の保守期間においては、例年の保守作業と、改善作業の他に4月の火災の復旧作業が行われた。9月の一般公開に関しては、入射器棟に火災に伴う臭気が残留していたために、来年度の公開を目指すことになった。7月に開催された SuperKEKB 加速器諮問委員会の報告が公表され、主要勧告の対象に入射器に直接関わる案件は無かったが、入射器関連の8つの発表に対する個々の勧告について、対応策の検討を始めている。保守期間終了後の9月24日からマイクロ波装置のコンディショニングを開始し、10月15日には SuperKEKB HER/LER、17日から PF、23日から PF-AR への入射をそれぞれ再開した。それぞれの蓄積リングに向けて順調な入射運転を継続しながら、同時入射機構を有効に利用して、性能向上の試みも実施している。

火災復旧

電子陽電子入射器棟に隣接する加速管組立室において4月に発生した火災の煤によって、入射器関連の機器も大きな影響を受けたが、当時は早期のビーム入射再開を優先し、一部の作業は夏に持ち越していた。その後、一度清掃した装置にも再度煤や液状の付着物が見られるようになり、装置の健全性が懸念されるようになっていた。

火災直後の回復作業においては、時間的な制約から、壁

などの付着物や高所の煤の撤去を充分に行うことができなかった。徐々に機器へ影響を与えていると考えられるので、入射器棟内については、夏の保守期間に回復作業を行い、クライストロンギャラリーとトンネル、クライストロン組立ホールについては、高所作業も含めて秋の運転前に回復作業をほぼ終えることができた。火災が発生した加速管組立室については慎重な準備を進めている。

クライストロン組立ホールには入射器運転用の装置も配置されていたが、一部はすぐには回復できなかった。対応策を検討したところ、当面の入射ビームの性能を大きくは損なわない範囲で、装置を停止させることが可能であることがわかり、大型の偏向電磁石電源1台と、大電力マイクロ波電源2台について、当時は回復を諦めて、夏期停止期間に回復作業を行った。秋の運転開始時には、機器の健全性をひとつひとつ確認しながら慎重にビーム運転を進め、通常運用に戻すことができた。

加速管組立室自体については、被災機器の検証を行い、かなりの機器が使用不能とわかったため、撤去を行った。来年1月までに建物の回復作業を行い、5月までには加速管試験を開始できるような準備を整えたいと考えている。今後の入射器の運転に使用される S-バンド加速管の試験を行うつもりである。



図1 被災直後のクライストロン組立ホール（左上），と回復作業の進んだ最近のホール（右下）



図2 火災直後の加速管組立室、焼損した電源は奥で見えていない（上）。被災機器を撤去・廃棄し高所回復作業の準備が進んだ最近の状況（下）。

光源リング運転状況

今年度も夏期の停止期間中に、各種装置の定期的な点検保守を行い、PFリングおよびPF-ARともに立ち上げへ向けて準備を行ってきた。特に、PF-ARにおいては、次節で詳述するが、高周波加速空洞の高次モード減衰ケーブルの全数交換という大がかりな作業を約3ヶ月間に渡って行った。

図1に、PFリングの秋の立ち上げ日10月17日9:00～11月1日9:00までの蓄積電流値の推移を示す。PFリングでは今夏は真空チャンバーを大気暴露するような大がかりな作業がなかったため、立ち上げにおけるビーム寿命の回復は順調で、早い段階で蓄積電流値450 mAにおける $I \cdot \tau$ が600 A・minを超えるまでになった。立ち上げ時における各種調整も順調に進み、予定通り10月28日9:00からの光軸確認後ユーザー運転を開始した。11月22日からの

ハイブリッドモードでの運転までは、250バンチのマルチバンチ運転となる。

図2に、PF-ARの立ち上げ日10月23日9:00～11月1日9:00までの蓄積電流値の推移を示す。SKEKBの陽電子入射路において10月21日夕方に発生した電磁石トラブルの影響により、予定していた立ち上げスケジュールに変更があったものの、立ち上げ調整およびビーム寿命の回復も順調にすすみ、10月28日9:00からの光軸確認後、ビームエネルギー5 GeVでのユーザー運転を開始した。新規に設置した高次モード減衰ケーブルの温度も安定していて問題ないものの、ケーブルに使用している絶縁ポリエチレンに不安があるため、安全を考慮して蓄積電流値の最大値を50 mAにして運転を行なうこととした。11月11日9:00に予定されている6.5 GeVへエネルギー切り替えまでは、5 GeV 運転となる。

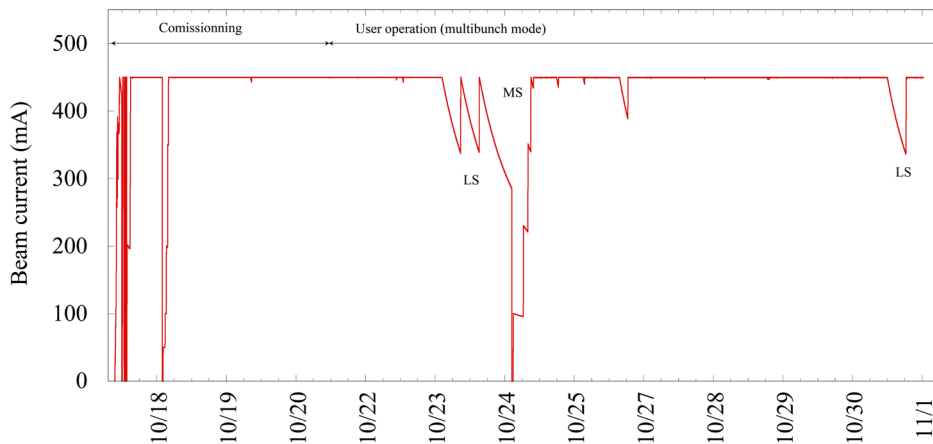


図1 PFリングの立ち上げ日10月17日9:00～11月1日9:00までの蓄積電流値の推移を示す。LSは、入射器マシン調整日、MSはリングマシン調整日を示す。

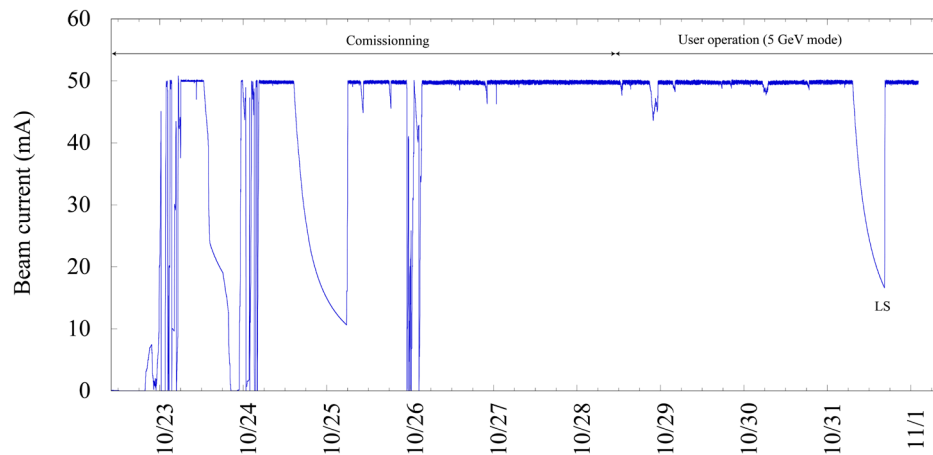


図2 PF-ARにおける立ち上げ日10月23日9:00～11月1日9:00までの蓄積電流値の推移を示す。LSは入射器マシン調整日を示す。

PF-AR 加速空洞の高次モード減衰用ケーブルの更新

大強度放射光リング PF-AR では、6 台の APS (Alternating Periodic Structure) 型加速空洞を用いてビームを加速している。ちなみに APS 構造とは、高エネルギー物理学研究所第 2 代所長の故西川哲治先生が考案された加速構造である [1]。PF-AR では、TRISTAN 計画の加速空洞として 1985 年頃に開発された APS 型加速空洞 [2,3] を現在でも現役で使用している (図 3)。

PF-AR の加速空洞では、各加速セル (空洞当たり 11 個ある) に高次モード結合器 (HOM カップラー) [4] という一種のアンテナが取り付けられていて、ビームが空洞内に誘起する余分な電磁場 (Higher Order Mode; HOM) を引き出し、ビーム不安定性を起し難くしてある。高次モード結合器から引き出された電磁波は、同軸ケーブルを通してダミーロードに導かれ、そこで消費される。これらの機器の写真を図 4 に示す。

PF-AR では 2017 年 2 月に直接入射路が完成し、フルエネルギー (6.5 GeV) でビーム入射を開始した。2018 年 11 月からは、蓄積電流を一定に保つトップアップ入射を開始した。これらによりビーム電流を高い値 (50 ~ 55 mA 程度) に維持できるようになり、放射光の平均強度が



図 3 PF-AR の APS 型加速空洞 (東直線部に設置された 4 台)

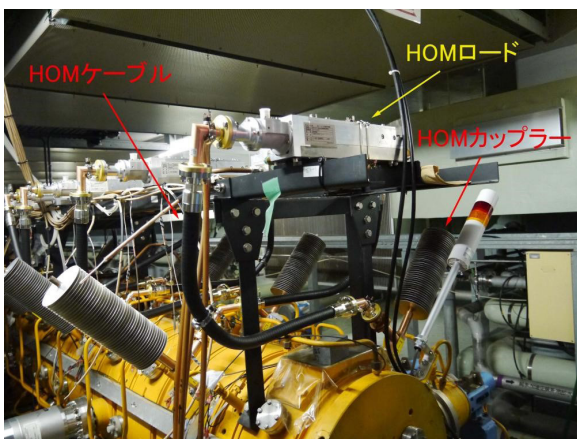


図 4 PF-AR 加速空洞の高次モード (HOM) 減衰器。更新後の 2019 年 9 月に撮影。

大幅に向上した。一方で、蓄積電流が向上したのと同時期の 2018 年 5 月頃から、上記の高次モード引き出し用ケーブル (HOM ケーブル) が発熱するトラブルが急増した。2018 年 5 月 ~ 2019 年 6 月の期間に、ユーザー運転を中断して HOM ケーブルまたはその周辺機器を交換した事例が 4 件起きている。取り外した HOM ケーブルを観察すると、ケーブルのポリエチレン絶縁体が黒色に変色し、溶けている事例もあった (なお、HOM ケーブルの温度が上昇した場合には、温度スイッチにより加速用高周波が停止されるため、火災に至る事はない)。

この HOM ケーブルの発熱トラブルの原因は、ビーム電流の向上に伴って高次モード電力が増加したことに加えて、HOM ケーブル等に使われているポリエチレン絶縁体が劣化したことが原因と考えられる。HOM ケーブルは前回更新してから 10 年以上が経過している。その間 PF-AR の偏向電磁石から放出される放射光の散乱 X 線に晒され続け、劣化しているものと思われる。このため、2019 年夏の停止期間中に HOM ケーブル等の更新を行っている。

HOM ケーブル等の更新では、放射線により劣化していると考えられるポリエチレン部品を全て交換する。具体的には、1) 70 台の 3 kW ダミーロードを工場に運びオーバーホール、2) 70 台の HOM カップラーに使われているポリエチレン絶縁体を交換、3) 70 本の HOM ケーブルを更新、を実施する。また、HOM ケーブルの温度モニターに用いているデータロガーも更新し、温度モニターも 70 点を増設する。作業工程としては、まずダミーロードを取り外し、工場に運んでオーバーホールする。ダミーロードの保守中に HOM カップラーの点検および部品交換を、真空リークを起こさないよう注意して行う。ダミーロードの保守が完了した後、それらを加速器トンネル内に再設置し、その後新しい HOM ケーブルを設置する。HOM ケーブルは硬いうえに比較的短い (長さ約 80 cm) ため、設置場所に合わせて形状を微調整する必要がある、1 本設置するのに 1 時間程度かかる。HOM ケーブルの設置が完了した後、温度スイッチ (計 280 個)、温度センサー (計 140 本) の取り付けを行い、温度インターロック等の動作確認を行う。こ



図 5 高次モード (HOM) 引き出し用ケーブルの更新作業の様子

これらの作業を PF-AR が停止する 6 月下旬から 10 月下旬までの約 4 ヶ月間で完了する必要がある、工期を短縮するための様々な工夫をした。現時点（9 月末）で全ての HOM ケーブルの取り付けが完了し、10 月 23 日からの PF-AR の運転再開に向け、仕上げの作業を急ピッチで進めている。この HOM ケーブル更新等により、HOM ケーブルが発熱するトラブルを回避でき、PF-AR の安定な運転に貢献できると期待される。図 5 に HOM ケーブル取り付け作業の様子を示す。

参考文献

- [1] T. Nishikawa, S. Giordano, and D. Carter, *Dispersion relation and frequency characteristics of Alternating Periodic Structure for Linear Accelerators*, Rev. Sci. Instrum. **37**, 652 (1966).
- [2] 例えば, T. Higo, Y. Yamazaki, T. Kageyama, M. Akemoto, H. Mizuno, and K. Takata, *Development of an APS cavity for TRISTAN Main Ring*, IEEE Trans. on Nucl. Sci. **NS-32** (1985) 2834.
- [3] (注釈) 正確には, TRISTAN AR 用は 11 セル APS 空洞, MR 用は 9 セル APS 空洞 (が 2 台連結された空洞) という違いがある。
- [4] Y. Morozumi, T. Higo, and Y. Yamazaki, *Higher order mode damper with self-cooled coupler*, Part. Accel. **29**, 85 (1990).

セラミックチェンバー一体型パルスマグネットの開発

加速器第六研究系では、次世代放射光源加速器に適用が可能なセラミックチェンバー一体型パルスマグネット (Ceramics Chamber with integrated Pulsed Magnet : CCiPM) の開発を進めている [5]。開発を進めるパルスマグネットは空芯型であり、パルスマグネットに必須なセラミック真空ダクトと磁石コイルを完全一体化する世界に類のない新たな構造を有している (図 6)。新構造ではマグネットコイルである銅コイルを円筒セラミックの壁面に開けた貫通溝に埋め込み銀ロウ付けで接合することにより完全一体化を実現している。完全一体化には、銅コイルとセラミックの間の大きな熱膨張差に対して、長手方向の 0.3m に渡り銀ロウ付け接合をするための高度な技術開発を必要

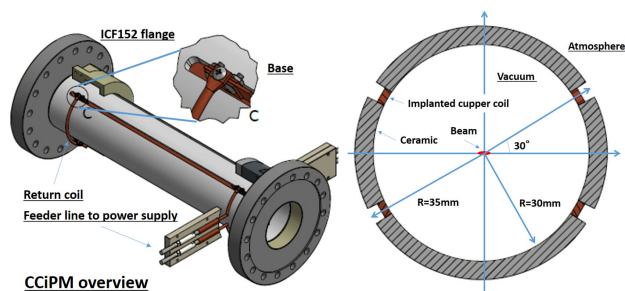


図 6 CCiPM 概念設計

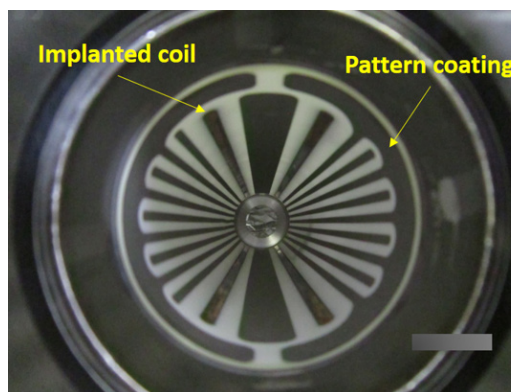


図 7 精密ラインコーティングの実装

とするが、現在、口径 60 mm の円筒セラミックスにコイルを埋め込む技術開発に成功しており、コイルへ電流を導入する口金構造の構築技術も完成している (図 6 中拡大図)。この技術開発と同時に、円筒内表面には、コイルを避けたビーム壁電流路としての精密なコーティングを施す必要があるが、その発想から、パターンコーティングの着想を得て、ビーム壁電流路として機能しながら、パルス磁場に対する渦電流を生成しない精密な櫛形ラインコーティングの実装技術が確立された (図 7)。

完全一体化することで、非常に簡潔な構造となっていることは一目瞭然であるが、セラミックスは真空隔壁でもあると同時に、コイル治具でありコイル間の電氣的絶縁体でもあるため、機械的・熱的構造強度は向上し、電氣的に安定している。磁極面はビームインピーダンスに影響を与えない円筒内面と同一レベルまで、ビームに近づけられており、将来光源のような低エミッタンスリングで要請される小口径の真空ダクトでは、セラミックダクト厚み分の磁場強度の増加は相対的に有効である。空芯型であることから飽和がなく磁場の追従性や線形性がよいため、パルス磁場の高速性能化、少ないコイル数でも磁極配置と電流方向の組み合わせで多極磁場の高磁場化が可能である。一体型による利点と空芯型の利点を兼ね備えた CCiPM は、次世代光源で要求される高速高繰り返しキッカーとしての利用、8 極以上の多極パルス電磁石入射への利用などが提案されている。特に、次世代放射光源のような回折限界エミッタンスリングで極小化するビームダイナミックアパーチャーに対応するための要となる新たな入射技術の開発として、PF でのパルス六極電磁石入射のパイオニアとしての知見と実績に基づき CCiPM を多極パルス電磁石入射に適用することを推進している。これまでの開発で、CCiPM のテストベンチでの耐久性能、真空性能などは着実に実証がなされてきた。2018 年度からは、ビーム性能の実証段階へと加速器実装の開発を進めている。実証試験は、まず比較的運転リスクの少ない PF リングビームトランスポートのダンプリン (BT-dump) に試験路を建設しビーム性能評価を行い、結果が良好であれば PF リングの六極パルス電磁石と入れ替え、リングを周回するビーム暴露試験及び模擬入射試験へと段階を踏んで進めて行く計

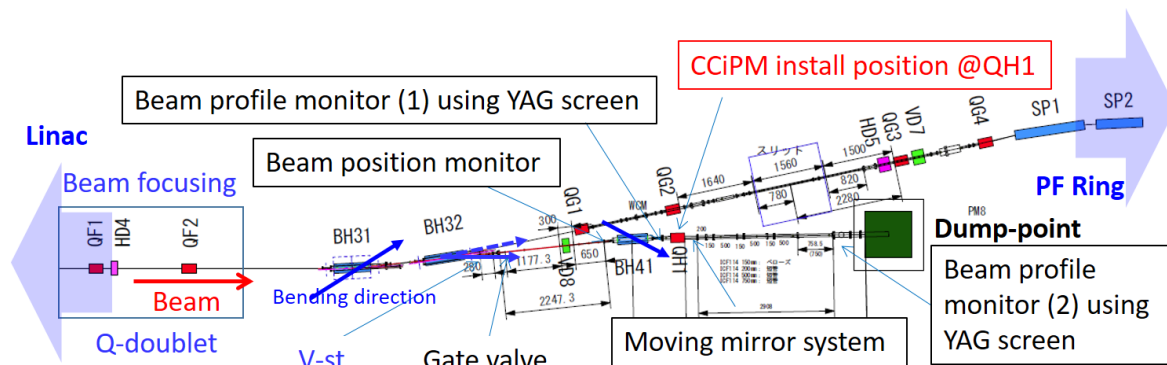


図8 PF-BT ダンプラインに構築された CCiPM ビーム試験路

画である。2018 年度に始まった BT-dump 試験路構築のための改造計画は、2019 年度 1 月末に完成した (図 8)。試験路には、CCiPM の蹴り角をビーム位置の移動で正確に評価する YAG スクリーンのビームプロファイルモニターを CCiPM の直上流、ダンプ点に設置し、内面コーティングの健全性を視認できる駆動ミラーを導入している。試験中のビーム位置の誤差を非破壊で監視するビーム位置モニターも新たに CCiPM より上流に設置した。2019 年の 2 月 13 日、2 月 28 日の 2 回に分けてビームスタディーを実施した。図 9 にビーム試験路へ設置した CCiPM の様子を示す。新構造キッカーの世界で初のビーム試験である。試験目的は、ビーム暴露のコーティングへの影響の有無、励磁特性、磁場分布をビーム蹴り角で再現することである。水平磁場分布は上流にある振り分け偏向電磁石の補正コイルによりビームを CCiPM に平行に水平掃引することで行った。結果の速報の一例としてビーム初観測時の CCiPM 出力によるビームの水平シフト (図 10)、パルス励磁電流に対する蹴り角の励磁特性の結果 (図 11) を示す。YAG スクリーン及び CCiPM の設置傾きからわずかな垂直シフトが見られるが、誤差内で磁場測定から求められる電流値に対する蹴り角の期待値 7.4×10^{-4} mrad/A 通りであることが実証された。また、2 カ月にわたる Linac からのビーム

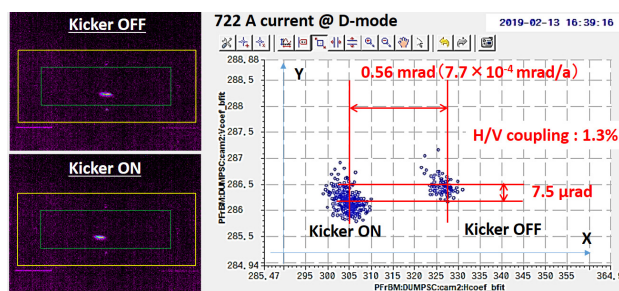


図 10 CCiPM 出力によるビーム水平シフト初観測

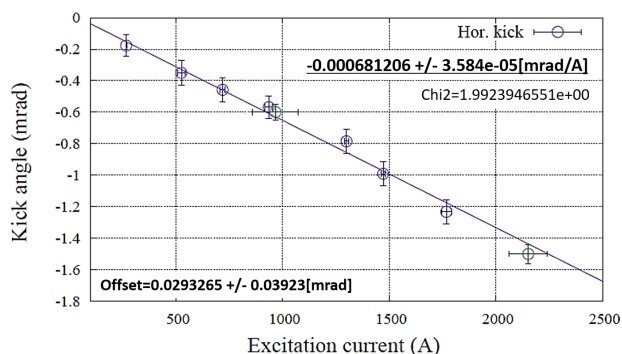


図 11 励磁特性曲線

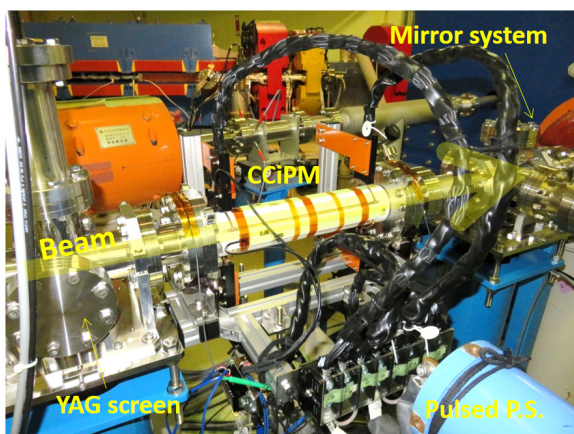


図 9 CCiPM 設置の様子

暴露に対してはコーティング損傷もなかった。総じて新たなパルスマグネット構造のビーム性能が実証された結果となった。今後、結果の再現性の確認試験を進めることと並行し、蓄積リングでのビーム性能実証試験へ移行していく予定である。同時に、超小口径 30 mm で磁極数を増加させた多極 CCiPM の開発が並行して進行しており、順次ビーム性能実証試験が進められていく計画である。

参考文献

- [5] C. Mitsuda *et al.*, “Accelerator Implementing Development of Ceramics Chamber with Integrated Pulsed Magnet for Beam Test”, Proc. IPAC2019, Melbourne, Australia, 4164 (2019).

基盤技術部門の紹介

<https://www2.kek.jp/imss/pf/section/beamline/>

今回は、3つの内部組織の中から運営部門について紹介しました。今回は、基盤技術部門についてご紹介します。基盤技術部門は、放射光を実験装置（エンドステーション）に導くビームラインの整備と高度化を目的として設置されています。この部門は、放射光科学第一・第二研究系や加速器研究施設加速器第六研究系とともに、最先端の放射光技術の開発研究プロジェクトの中核を担います。開発項目はハードからソフトまで広範かつ多岐にわたるため、光学系、X線光学、基盤設備、インターロック、真空系、制御系、検出系、時間分解、試料環境の専門チームで検討を行い、外部とも適切に連携しながらビームラインの整備と高度化を推進しています。構成メンバーは、基盤技術部門長の五十嵐教之教授を含めて22名、技術職員は、全員がこの部門に所属しています。メンバーの多くは、複数のチームを兼務しています。今回は、光学系、X線光学、基盤設備を主務とするメンバーを紹介します。残りは、次回以降で紹介させていただきます。

光学系チームを主務とするのは、若林大佑特別助教（チームリーダー）、森丈晴専門技師、内田佳伯専門技師、田中宏和技師の4名です。光学系チームは、各種シミュレーションを行うことで光学系を設計して実装します。若林さんは、高圧科学分野の博士研究員を経て、2018年4月にBL-19A/B建設の特別助教として採用されました。X線光学も兼任しています。森さんは、光学系の他、高圧ガスと寒剤を担当しています。内田さんは弁理士の資格を持っておられ、光学系の他、機構の知財関係も担当しています。田中さんは、BL-19A/Bの設計において中心的な役割を担った軟X線ビームライン建設の専門家です。真空系を兼務しています。PFの前はJ-PARC加速器の所属でした。

X線光学チームを主務とするのは、平野馨一准教授（チームリーダー）、杉山弘助教、鈴木芳生研究員の3名です。X線光学チームは、光学素子の新しい利用方法の開発や新しい機能をもった光学素子の開発とその応用を推進します。平野さんは、伝統ある高良研究室の流れをくむ菊田・石川研究室の出身で、結晶移相子の開発など、X線光学の分野で多くの成果を挙げておられ、利用者の方もよくご存知の放射光ビームライン光学技術入門（日本放射光学会）の編集もされました。『施設だより』でご紹介した「3次元X線ズーム顕微鏡の開発」のプロジェクトリーダーでもあります。杉山さんは、トポグラフィの専門家であるとともに、光学結晶の加工にも精通しています。鈴木さんは、SPring-8を定年された顕微イメージングの専門家です。アドバイザーとして、かつての研究の場であったPFに、週1回の頻度で来て頂いています。

基盤設備チームを主務とするのは、小山篤前任技師、豊島章雄専門技師（チームリーダー）、松岡垂衣准技師の3名です。基盤設備チームは、建物やインフラ設備から付帯設備まで、広い範囲の保守・整備と運用を担当しています。小山さんは、物構研の技術調整役も務めており、技術職員全体のリーダーです。豊島さんは、放射光実験施設の技術副主幹2人の内の1人で、真空系を兼務しています。松岡さんは、小山さんや豊島さんから、知識と経験を引き継ぎ、次世代を担う存在です。

運転・共同利用関係

2019年度第2期の運転は、予定通り、PFは10月17日に、PF-ARは10月23日に開始しました。ともに12月12日までの予定です。PFの通常モードとPF-ARの5 GeVの組み合わせで開始して、PFは11月22日にハイブリッドモードに、PF-ARは11月13日に6.5 GeVに切り替えます。

2019年度第3期の運転は、予算（運転に必要な光熱水費）の確保が遅れ、ご心配をお掛けしましたが、ようやくスケジュールが確定しました。PFは2月3日から3月9日まで、PF-ARは2月10日から2月25日までの予定です。PFは通常モードで開始して、2月28日にハイブリッドモードに切り替えます。PF-ARの運転は5 GeVのみになります。

PF-PACは、『施設だより』でご紹介した通り、10月2日に開催されました。詳細については、本誌報告記事をご参照ください。

はじめに

今年度より，放射光科学第一研究系と第二研究系で交互に報告記事を担当しておりますので，第3号となる今号では再び私が現状の報告をいたします。第1号では，第一研究系の全体像を紹介しましたが，今回はその中の二つの研究部門のうち，表面科学研究部門について，もう少し掘り下げて紹介したいと思います。もう一つの研究部門である固体物理学研究部門については，2020年度の第1号で紹介する予定です。

表面科学研究部門の紹介

第1号で紹介した通り，表面科学研究部門では私と堀場弘司准教授が，それぞれ中心になって研究グループを形成して活動を行っています。現時点では承継職員が二人しかおりませんが，2018年3月末までは組頭広志教授（現在は東北大学教授，クロスアポイントメントとして物構研特別教授）が堀場さんと，2018年9月末までは当時助教だった鈴木（酒巻）真粧子さん（現在は群馬大学准教授，物構研客員准教授）が私と，それぞれグループを形成していました（当時は改組前なので，表面科学研究部門ではありませんでした）。以下，これら二つの研究グループの研究内容とメンバーを紹介します。

堀場グループは，「表面・界面で新しい電子状態を創り出す」をキーワードに，放射光を始めとする量子ビームを駆使した表面・界面の電子状態の観測と，主にレーザーMBE（Molecular Beam Epitaxy）を用いた薄膜の作製を融合させて，表面・界面における新たな電子状態の創製を目指した研究を展開しています。測定手法としては，VUV・軟X線領域の角度分解光電子分光（ARPES），X線吸収分光（XAS），およびX線磁気円二色性（XMCD）を中心に，中性子・ミュオン・陽電子といったプローブも視野に入れています。メンバーは堀場さん，北村未歩さん（特別助教），組頭さん，客員准教授として相馬清吾さん（東北大学准教授），そして連携大学院生の志賀大亮さん（東北大学，D2）という構成になっています。なお，湯川龍さんと小畑由紀子さんもメンバーでしたが，後述のように最近転出されました。

雨宮グループは，「働く表面・界面をその場で観る」をスローガンに，磁性薄膜や触媒などの機能を持った表面・界面の化学状態や磁気状態を，それらが動作している状態で観る（オペランド観察する）ことを目指して，深さ分解XAS/XMCD法，波長分散型XAS法など，新たな発想に基づく表面・界面観察手法を開発しています。これらは主に軟X線領域の放射光を利用した手法ですが，その他にも電場や磁場などの外場中での測定を得意とする硬X線XAFSや偏極中性子反射率も，しばしば利用しています。メンバ

一は，雨宮の他に，鈴木さん，近藤寛さん（慶応大学教授，物構研客員教授），そして連携大学院生の山本涼輔さん（東京大学，M2）と受託学生の渋谷昂平さん（東京理科大学，B4）です。

いずれのグループも，表面・界面を「観る」ことと「創る」ことを車の両輪としつつ，マルチプローブを意識しながら「観る」ための手法の幅を広げるとともに，それぞれの手法のさらなる高度化を目指しています。特に最近では，表面・界面の状態を保ったままで一つの試料を様々な手法で観察できるような工夫を進めています。このような研究・開発活動を通じて，最先端の表面科学を切り拓いていくことが，表面科学研究部門の目標です。

人事異動

最後に，放射光科学第一，第二研究系に関する人事異動を報告します。表面科学研究部門の博士研究員の小畑由紀子さんと構造生物学研究センターの研究員の原田彩佳さんが9月末に，表面科学研究部門の湯川龍さんが10月末に，それぞれ転出され，斉藤耕太郎さんが材料科学研究部門の研究員として9月に着任されました。また，材料科学研究部門の研究員の山本樹さんが8月より特任教授に，特任助教の福本恵紀さんが10月から特任准教授に，そして構造生物学研究センターの特別助教の安達成彦さんが9月から特任准教授に，それぞれ昇任されました。転出・着任された方，昇任された方ともに，今後のますますのご活躍を期待しています。

軟 X 線 in-situ/ オペランド光電子分光による触媒解析

近藤 寛¹, 吉信 淳², 小澤健一³, 間瀬一彦⁴

¹慶應義塾大学理工学部, ²東京大学物性研究所, ³東京工業大学理学院, ⁴KEK 物質構造科学研究所

Analysis of catalysis by soft-x-ray in-situ/operando photoelectron spectroscopy

Hiroshi KONDOH¹, Jun YOSHINOBU², Kenichi OZAWA³, Kazuhiko MASE⁴,

¹Department of Chemistry, Keio University, ²The Institute for Solid State Physics, The University of Tokyo

³Department of Chemistry, Tokyo Institute of Technology, ⁴Institute of Materials Structure Science

Abstract

2015 年から 2018 年にかけて 3 年の間、S2 課題「先端軟 X 線分光の融合による活性触媒の電子状態と反応活性に関する研究」を実施した。本課題では BL-13B の 3 つの光電子分光エンドステーションによる in-situ/ オペランド計測をベースにして、触媒過程の物理化学的理解を深めるための方法論を開拓することを目的とし、幾つかのよく知られた触媒反応のメカニズムを解明することに取り組んだ。本稿では、その代表的な成果を紹介する。

1. はじめに

触媒を制御された環境下でその場測定する in-situ 解析は触媒を調べるうえで非常に有用である。その中でも、反応が進行する条件下でその場測定するオペランド計測は、近年、反応機構を調べるアプローチとして盛んになっている。軟 X 線を励起光源とする光電子分光は、触媒と反応種の両方を表面敏感に観測できるプローブとして有用であるが、これを用いた in-situ/ オペランド計測も世界の放射光施設で活発に行われるようになってきている。そのような中で、私たちの研究グループは、軟 X 線光電子分光 (XPS) による in-situ/ オペランド計測を触媒解析に真に活かすためには、どのような解析を行うのが効果的か、という問題意識を持って、4 年前に S2 課題を提案させていただき、BL-13B で研究を行ってきた。

私たちが立ち上げた BL-13B の 3 つの光電子分光エンドステーションを改良しながら取り組んだ触媒の解析は、次の 3 つのアプローチである。①モデル触媒作製による in-situ 解析、②電子・反応物性相関解析、③反応条件下の触媒解析。これらに共通した in-situ 解析を活かして、触媒の構造と電子状態および反応種の吸着挙動が触媒反応にどのように繋がるかを明らかにすることを目指した。対象とした触媒は、水素化触媒、光触媒、排ガス触媒、エポキシ化触媒の 4 種類であり、どの触媒も長年にわたり研究が重ねられている重要な触媒である。3 年間の研究期間で、上記の 3 つのアプローチのそれぞれが触媒解析において有用であることを実証できたと考えている。本稿では、それらによって明らかになった成果の中から、表面合金モデル触媒の作製と反応、TiO₂ 光触媒活性の面方位依存性、オペランド反応解析による活性種の検討について紹介する。

2. 表面合金モデル触媒の作製と反応

よく規定された金属表面に異種金属を真空蒸着して表面合金を作製し、表面組成・電子状態および分子吸着や表面反応を軟 X 線光電子分光で in-situ 解析することは、様々な触媒反応の原子レベルでの解析に有効なアプローチである。ここでは、地球温暖化の原因で温室効果ガスの一つである CO₂ の活性化と水素化に関連して、Zn/Cu 系モデル触媒の作製・評価と、水素化を促進するための Pd/Cu 系モデル触媒の作製と水素やギ酸の吸着についての研究を紹介する。

Zn/Cu 系触媒は、CO や CO₂ の水素化によるメタノール合成触媒として利用されている。工業的には ZnO に Cu 微粒子が担持されたものが触媒として利用されており、還元された Zn と Cu が合金を形成し、触媒として機能していると考えられている。しかし、その詳細は現在でも議論されている。Cu 表面における合金形成過程について、300 K の Cu(111) 表面に Zn を真空蒸着し、生成過程・表面組成・電子状態について研究を行なった。Zn 蒸着量の関数として、Cu 2p と Zn 2p 内殻準位を高分解能 XPS により調べた [1]。Zn 蒸着量が増え Zn 多層が形成するまで、Cu 2p および Zn 2p 準位は高結合エネルギー方向へシフトした。密度汎関数法に基づく第一原理計算によると、Cu 2p のシフトは、Zn/Cu 表面合金の形成にともなって有効静電ポテンシャルが変化することと、Zn 蒸着により表面 Cu 原子の配位数が増えることによることが原因であると考えられる。一方、価電子帯光電子分光の結果から、Zn 蒸着量が 1 ML 相当までは、300 K では表面から 2 層の範囲で Zn-Cu 表面合金が形成されるが、それ以上 Zn 蒸着量を増やすと表面に 3 次元の Zn 凝集体が生成することがわかった。Cu(111) 表面への Zn 蒸着による Zn-Cu 表面合金形成過程を模式

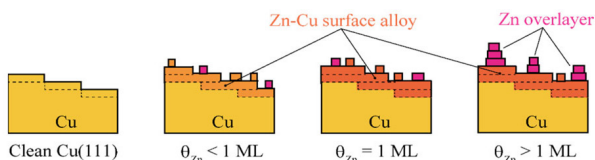


Figure 1 Schematic models of Zn-Cu(111) surfaces including steps. At Zn coverage below 1ML, the Zn-Cu surface alloy is formed through atomic substitution of Zn for surface Cu atoms. After that, Zn overlayers are deposited on the surface alloy in the 3D island growth manner at Zn coverage above 1 ML

的にまとめると、Fig. 1 のようになる。なお、本論文は Surface Science 誌の Editor's Choice に選ばれた。

Zn-Cu 触媒はメタノール合成触媒として利用されているが、水素分子の解離活性が極めて低い。そこで、Pd を少量蒸着することにより、Cu の触媒機能を活かしたまま Pd がもつ水素解離機能を付加したモデル触媒を作製した。超高真空チャンバー内で Cu(111) 清浄表面を作製し、500 K の Cu(111) 表面に Pd を真空蒸着することにより Pd-Cu(111) 合金モデル触媒を作製した。気相の水素およびギ酸を真空チャンバー内に導入し、80 K の Pd-Cu(111) 表面に吸着させた。その後、表面を加熱し、スペクトルの変化を調べた。表面の電子状態・化学状態を BL-13B に設置された Phoibos100 による放射光内殻光電子分光で観測した。Cu 基板を 500 K に保ちながら Pd を蒸着すると、Pd は表面およびバルク内で Cu と合金を形成する。Fig. 2a は Pd 3d_{5/2} XPS スペクトル (hν = 490 eV) で、335.3 eV のコンポーネントは表面合金の Pd、335.6 eV のコンポーネントは、バルク内の Pd と帰属した。なぜならば、水素曝露により 335.3 eV のコンポーネントのみが変化したからである。次

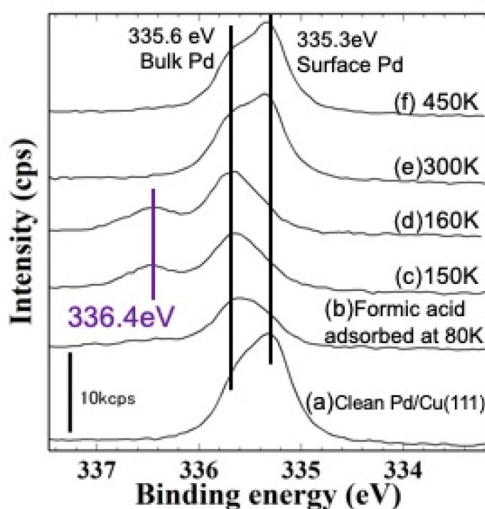


Figure 2 A series of Pd 3d_{5/2} XPS spectra (hν=490 eV). (a) clean Pd/Cu(111), (b) formic acid adsorbed Pd/Cu(111) surface at 80 K, (c) after 150 K heating, (d) after 160 K heating, (e) after 300 K heating, and (f) after 450 K heating.

に、80 K の Pd-Cu(111) 表面にギ酸を吸着させ、加熱過程を C 1s、O 1s、Pd 3d の XPS で追跡した。C 1s と O 1s XPS スペクトルから、Cu(111) 表面と同様にギ酸分子が 150 K でモノデンテート種に変化し始め、300 K ではバイデンテート種になることがわかった。一方、Pd 3d_{5/2} を観測すると、150 ~ 160 K で高結合エネルギー側にシフトした 336.4 eV にピークが観測された (Fig. 2c,d)。300 K 加熱後はこのピークが消失していることから (Fig. 2e)、モノデンテート種は Pd サイトに吸着し、300 K でバイデンテート種になるときに、Pd から Cu サイトへ移動したことが推察できる [2]。このように高分解能内殻光電子分光は、吸着種および表面合金の化学状態を定量的に明らかにすることができる極めて有効な表面解析手段である。現在、このモデル触媒を用いたホルメートの水素化過程 (メタノール合成) の研究を引き続き行なっている。

3. TiO₂ 光触媒活性の面方位依存性

顕著な光触媒作用を示す二酸化チタン (TiO₂) は、本多・藤嶋効果の発見以降、高活性化や可視光応答性の付与を目指した多くの基礎・応用研究を喚起し続けており、着実に光触媒作用の理解が進んでいる。その一方で、その物理が未だ理解できていない現象も多く残されている。その一つに、TiO₂ 結晶の面方位に依存した光触媒活性の違いがあり、その原因を明らかにする実験を進めた [3]。

光触媒反応は、吸着種と光励起キャリアが結晶表面で会合することで開始されるため、吸着種とキャリアの表面での密度に比例するはずである。そこで私たちは、TiO₂ 結晶表面の分子吸着活性と光励起キャリアの寿命 (長寿命キャリアほど表面での存在確率が上がる) が光触媒活性とどのような関係にあるのかを調べることで、現象の究明に取り組んだ。

キャリア寿命の測定は、SPring-8 の BL07LSU のレーザーポンプ・放射光プローブ時間分解軟 X 線光電子分光システムを用いて、アナターゼ TiO₂ 結晶 (a-TiO₂) とルチル TiO₂ 結晶 (r-TiO₂) の 4 表面に対して実施した。その結果は文献 [4,5] でも報告したが、キャリア寿命は r-TiO₂(110) > a-TiO₂(001) > スパッタ r-TiO₂(110) > r-TiO₂(011) の順になることが分かった。

結晶表面の分子吸着活性は、XPS 測定により吸着量を見積ることで評価した。分子の種類により吸着量は異なるが、CO やカルボン酸 (RCOOH) に対しては、r-TiO₂(110) や (110) が高い活性を示し、r-TiO₂(011) は相対的に低活性であった。a-TiO₂(101) や (001) 表面は、r-TiO₂(110) と同等かやや高い活性を示した。表面露出 Ti 原子が吸着部位であり、その密度や価数 (配位数) により吸着量が左右されることが確認できた。

光触媒活性は、吸着分子の紫外光照射による分解速度を XPS による C 1s ピーク強度の減衰時間 τ から評価した。減衰時間の逆数 (1/τ) が活性を示すパラメータとなる。TiO₂ は炭化水素 (イソブレン) に対しては不活性だが、H₂O が共存すると活性を示すようになる (H₂O 由来の

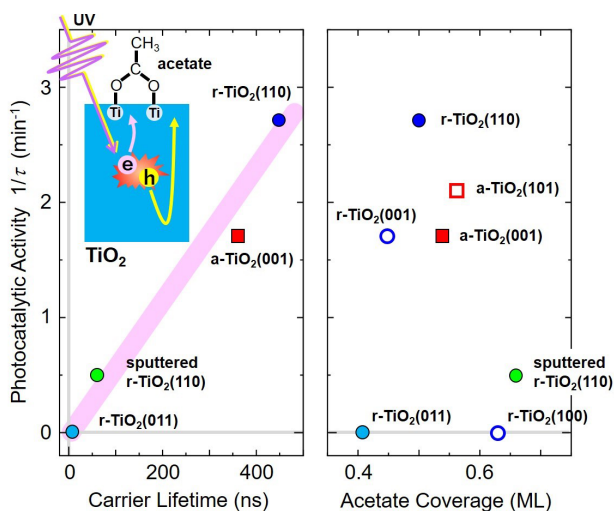


Figure 3 Activity of photocatalytic decomposition ($1/\tau$) of acetate on single crystalline TiO_2 surfaces as a function of the carrier lifetime (left) and the acetate coverage (right). The solid line in the left panel is the result of least squares fitting.

活性酸素種が反応を開始させることを意味する)。一方、酢酸に対しては H_2O がなくても活性を示した。r-TiO₂(110) 表面は吸着酢酸の光触媒分解に対して高い活性を持つが、r-TiO₂(011) は活性をほとんど示さないことが明らかになった。

以上、TiO₂ 結晶表面における3物性を検証すると (Fig. 3), 光触媒活性 ($1/\tau$) とキャリア寿命の間には正の相関があるが、分子吸着活性と $1/\tau$ の間には相関が見られないことが明らかになった。このことは、TiO₂ 光触媒活性の表面依存性は、各表面での光励起キャリア寿命の違いが反映された結果だと解釈できる。キャリア寿命は、結晶表面でのバンドベンディングの大きさに強く依存し、キャリアトラップ密度やトラップ断面積にも左右される [5]。従って、光触媒活性の面方位依存性は TiO₂ の置かれた環境にも依存するはずであるが、どのような環境下でも光触媒活性を決める最重要因子が励起キャリアの挙動であることが本研究で示されたと考えている。

4. オペランド反応解析による活性種の検討

反応条件下にある触媒表面を観測する際に、準大気圧 (Near Ambient Pressure: NAP) 下で XPS の測定が可能な NAP-XPS は幅広い反応条件下の観測を可能にする。例えば、排気ガス触媒となる AuPd 合金 [6,7] や RhPd 合金 [8] に対して準大気圧のガス雰囲気下で起こる合金表面特有の現象を見出したのもその例である。私たちは、NAP-XPS によって、反応条件下での反応種の振る舞いを調べてきたが、本課題では、特に、反応に活性化表面種の同定を目指して次の2つのアプローチで取り組んだ。一つはオペランド条件下でのキネティクス解析による活性種の同定 [9], もう一つは NAP- 偏光 X 線吸収端近傍微細構造 (NEXAFS) による“活性酸素種”の観測 [10] である。以下に、2つの

解析結果を紹介する。

オペランド条件下でのキネティクス解析を行ったのは Rh 触媒上の NO 還元反応である。Rh は排気ガス中の NO を除去するのに最も活性な触媒とされているが、N₂O を副生成することが問題になっており、その機構の理解が求められている。CO を還元剤として、NO と CO を 50 mTorr ずつ導入しながら昇温していくと、Fig. 4 上の試料近傍のガスの質量分析信号の変化からわかるように、300°C 付近で Rh 触媒は活性化して、NO が消費され、N₂ に加えて N₂O が生成してくる。同時に測定した XPS (Fig. 4 下) を見てみると、Rh 触媒が活性化したところで NO の解離が始まっており、その結果、原子状 N と原子状 O が生じる。原子状 N は分子状で吸着した NO と反応して N₂O を生じると考えられる。吸着 NO には top サイトに吸着した NO と hollow サイトに吸着した NO の2種類がある。どちらが N₂O を生成する活性種か見究めるために、反応速度と2種類の NO および N の被覆率の相関を調べた結果、hollow サイトに吸着した NO が反応に寄与する活性種であることがわかった [9]。オペランド計測で反応中に観測される化学種のうち、どれが反応に寄与するかを知るうえで、キネティクス解析が有効であることがわかった。

NAP- 偏光 NEXAFS を用いた表面種の観測を行ったのは、Ag 触媒上のエチレンの酸素によるエポキシ化反応である。この触媒反応は長年にわたり工業的に用いられていた

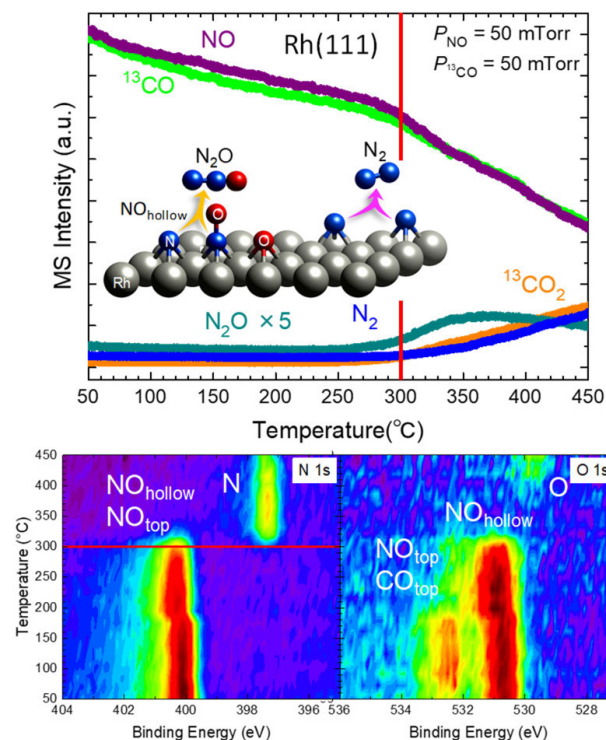


Figure 4 Mass intensity changes (upper) and NAP-XP spectra (lower) simultaneously taken for a Rh(111) surface under 50 mTorr NO and 50 mTorr ¹³CO with increasing temperature. Adapted with permission from ref. [9]. Copyright (2018) American Chemical Society.

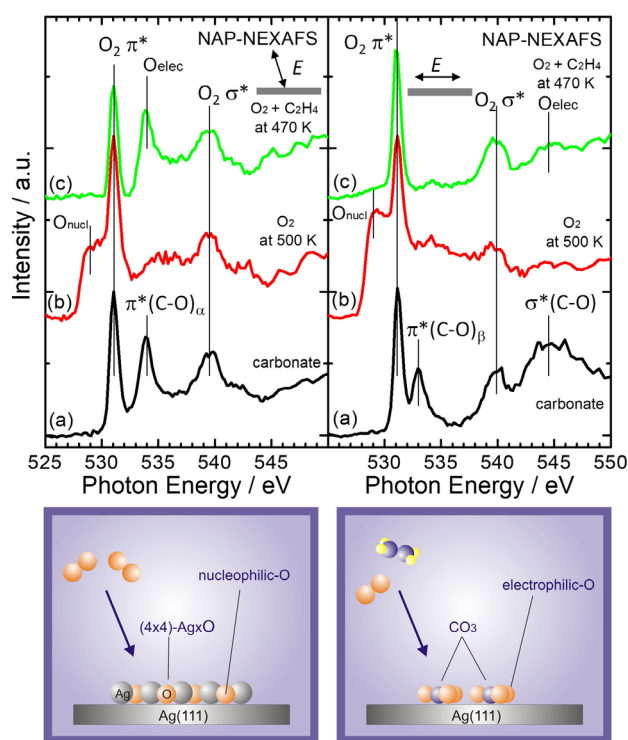


Figure 5 (upper) Polarized O K-edge NAP-NEXAFS spectra taken for a Ag(111) surface under different conditions: (a) 0.2 Torr O₂ at RT, (b) 0.2 Torr O₂ at 500 K, (c) 0.2 Torr O₂ and 0.04 Torr C₂H₄ at 470 K. (lower) Schematics for nucleophilic-O and electrophilic-O. Adapted with permission from ref. [10]. Copyright (2018) Chemical Society of Japan.

るが、その反応機構は今日まで議論され続けている。これまでの研究で、反応条件下で O 1s XPS に異なる結合エネルギー (528.3 eV と 530.3 eV) を示す酸素種が現れ、前者は求核酸素 (nucleophilic-O) と呼ばれ、エチレンを CO₂ まで全酸化する酸素種、後者は求電子酸素 (electrophilic-O) と呼ばれ、エチレンをエポキシ化する酸素種とされてきた。求核酸素については、Ag の表面酸化物の酸素であるとの解釈が有力であるが、求電子酸素については諸説あってコンセンサスが得られていない。そこで私たちは、NAP-XPS 装置を Auger 電子収量 NEXAFS が測定できるように改良して、求電子酸素の空軌道を X 線吸収で調べてみることにした。反応ガスが酸素のみのときと酸素とエチレンのときでそれぞれ求核酸素と求電子酸素が生成していることを NAP-XPS で確認したうえで、O-K 端の NAP-NEXAFS を測定した。その際に、BL-13 の可変偏光アンジュレータを活かして、試料位置を変えずに電場ベクトルが基板垂直に近い方向と基板平行方向の偏光スペクトルを測定した。その結果を Fig. 5 に示す。これを見ると、求電子酸素 (Fig.5(c) の O_{elec}) は基板垂直に近い偏光で 534 eV にシャープなピークを与え、基板平行方向の偏光で 545 eV 付近にブロードな構造を与える。これらは、カーボネート (Fig. 5(a) の π*(C-O)_α と σ*(C-O) に対応している (表面平行方向の偏光に現れる π*(C-O)_β は一部共存するアセテートによるものと考えられる)。さらに、その偏光依存性から、

反応条件下で現れる求電子酸素は基板と平行に寝たカーボネートの酸素であることがわかった [10]。通常、カーボネートは反応温度の 200°C になる前に脱離してしまうことが知られていたが、反応ガス存在下では、200°C でも銀表面に存在しうることがわかった。カーボネートはエチレンと酸素から生成し、その酸素が後から来るエチレンのエポキシ化に寄与していると考えられる。詳細な反応機構は理論的な検討を待たなければならないが、反応条件下で配向したカーボネートが表面に存在していることが本研究のアプローチで初めて明らかになった。

5. まとめと展望

今日では様々な in-situ/ オペランド計測が行われるようになっており、触媒研究においてもその発展は著しい。私たちは放射光軟 X 線光電子分光による in-situ 計測を基本にし、これをどのように展開すれば触媒の理解をより深められるかを模索することを課題にして 3 年間の研究を行ってきた。具体例で示したように、モデル触媒作製、電子・反応物性相関解析、オペランド・キネティクス解析、そして異なる手法の複合的適用が、本研究を通してその有用性を確認することができた。本稿では紹介できなかったが、ステップ面や粉末の担持触媒を用いたオペランド実験も行い、イレギュラーなサイトの効果や実触媒の作動状態に関する有用な情報が得られることもわかった。実触媒に対する応用は、今後さらに広がると考えられるが、その一方で、よく規定されたモデル触媒を作製して、注目する触媒機能の仕組みに狙いを定めた戦略的な研究が益々活発になると考えられる。それを加速する計測手法の高度化への努力は引き続き行われている。空間分解能の付与、測定可能な温度・圧力領域の拡張、測定の高速度化、他の分光との複合などが進められている。これらが高度化された BL-13B の光電子分光ステーションで、触媒機能の見えない仕組みが見えるようになっていくことを願っている。

謝辞

本研究における BL-13B での放射光実験は、放射光共同利用実験課題 (課題番号:2015S2-008) として行われました。本研究を遂行するにあたり、協力してくださった PF スタッフの皆様と東京大学、東京工業大学、慶應義塾大学、弘前大学、総合研究大学院大学のスタッフと大学院生の皆様がこの場を借りましてお礼を申し上げます。

引用文献

- [1] T. Koitaya, Y. Shiozawa, Y. Yoshikura, K. Mukai, S. Yoshimoto, S. Torii, F. Muttaqien, Y. Hamamoto, K. Inagaki, Y. Morikawa, J. Yoshinobu, *Surf. Sci.* **663** 1 (2017).
- [2] 長谷川雅大, 東京大学大学院理学系研究科化学専攻修士論文 (2019) より。
- [3] K. Ozawa, S. Yamamoto, R. Yukawa, R.-Y. Liu, N. Terashima, Y. Natsui, H. Kato, K. Mase, and I. Matsuda, *J.*

Phys. Chem. C **122**, 9562 (2018).

- [4] K. Ozawa, M. Emori, S. Yamamoto, R. Yukawa, S. Yamamoto, R. Hobara, K. Fujikawa, H. Sakama, and I. Matsuda, J. Phys. Chem. Lett. **5**, 1953 (2014).
- [5] K. Ozawa, S. Yamamoto, R. Yukawa, R. Liu, M. Emori, K. Inoue, T. Higuchi, H. Sakama, K. Mase, and I. Matsuda, J. Phys. Chem. C **120**, 29283 (2016).
- [6] R. Toyoshima, N. Hiramatsu, M. Yoshida, K. Amemiya, K. Mase, B. S. Mun and H. Kondoh, J. Phys. Chem. C, **120**, 416 (2016).
- [7] R. Toyoshima, N. Hiramatsu, M. Yoshida, K. Amemiya, K. Mase, B. S. Mun, and H. Kondoh, Chem. Commun., **53**, 12657 (2017).
- [8] H. Kondoh, R. Toyoshima, N. Shirahata, A. Hoda, M. Yoshida, K. Amemiya, K. Mase, and B. S. Mun, Phys. Chem. Chem. Phys., **20**, 28419 (2018).
- [9] K. Ueda, K. Isegawa, K. Amemiya, K. Mase, and H. Kondoh, ACS Catalysis, **8**, 11663 (2018).
- [10] K. Isegawa, K. Ueda, S. Hiwasa, K. Amemiya, K. Mase, and H. Kondoh, Chem. Lett., **48**, 159 (2019).

(原稿受付日：2019年8月26日)

著者紹介

近藤 寛 Hiroshi KONDOH



慶應義塾大学理工学部 教授

〒223-8522 横浜市港北日吉3-14-1

TEL: 045-566-1701

e-mail: kondoh@chem.keio.ac.jp

略歴：1990年 東京大学理学系研究科修士課程修了，1990年 化学技術研究所研究員，1998年 東京大学理学系研究科講師，2002年 同助教授，2008年 慶應義塾大学理工学部教授。

博士（理学）。

最近の研究：触媒のオペランド分光の高度化と機構解明。

吉信 淳 Jun YOSHINOBU



東京大学物性研究所 教授

〒277-8581 柏市柏の葉5-1-5

Tel: 04-7136-3320

e-mail: yoshinobu@issp.u-tokyo.ac.jp

略歴：1989年 京都大学大学院理学研究科博士課程修了，1989年 ピッツバーグ大学博士研究員，1991年 理化学研究所

基礎特別研究員，1992年 同研究員，1997年 東京大学物性研究所助教授，2007年 同教授。理学博士。

最近の研究：モデル触媒の作製と反応，水素が関わる表面科学，有機単分子膜の物性など。

小澤健一 Kenichi OZAWA



東京工業大学理学院化学系 助教

〒152-8551 東京都目黒区大岡山2-12-1

Tel. 03-5734-3532

e-mail: ozawa.k.ab@m.titech.ac.jp

略歴：1996年 東京工業大学大学院理工学研究科中退，1996年 同助手。理学博士。

最近の研究：光触媒や有機太陽電池における光励起キャリアダイナミクス研究。

間瀬一彦 Kazuhiko MASE



KEK 物質構造科学研究所

放射光実験施設 准教授

〒305-0801 つくば市大穂1-1

TEL: 029-879-6107

e-mail: mase@post.kek.jp

略歴：1991年 東京大学理学系研究科博士課程修了，1991年 理化学研究所基礎

科学特別研究員，1992年 岡崎国立共同研究機構分子科学研究所助手，1999年 高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所助教授，理学博士。

最近の研究：非蒸発型ゲッターコーティングの開発。

熱プロセスにおける有機ハロゲン化合物と重金属の関係

藤森崇¹, 塩田憲司¹, 张梦玫¹, 板井啓明², 高岡昌輝¹

¹ 京都大学大学院工学研究科 都市環境工学専攻, ² 東京大学大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻

Relationship between Organohalogen Compounds and Heavy Metals during Thermal Processes

Takashi FUJIMORI¹, Kenji SHIOTA¹, Mengmei ZHANG¹, Takaaki ITAI², Masaki TAKAOKA¹

¹Department of Environmental Engineering, Graduate School of Engineering, Kyoto University,

²Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, The University of Tokyo

Abstract

熱プロセスから非意図的に発生する塩素化ダイオキシン類をはじめとする有機ハロゲン化合物は、銅などの重金属と密接な関係がある。X線吸収微細構造の「その場観察」による塩化第二銅による炭素の直接塩素化反応の解明と、廃電気・電子製品の野焼き土壌で得られた銅の化学形態と有機ハロゲン化合物との関係について得られた知見を紹介する。モデル系と実現場で得られた知見が結びつくことで、新たな考察や研究の進展につながる。

1. はじめに

廃棄物管理において、都市ごみ焼却処理場から発生する塩素化ダイオキシン類およびフラン類 (PCDD/Fs) の制御は未だに今日的な課題である [1]。また、近年では廃電気・電子製品 (e-waste) の野焼きによって臭素化ダイオキシン類およびフラン類 (PBDD/Fs) の非意図的な生成も報告されている [2]。こうした熱プロセスから発生するハロゲン化ダイオキシン類およびフラン類以外にも、多くの芳香族・脂肪族の有機ハロゲン化合物が生成している。有機ハロゲン化合物のなかには、PCDD/Fs, ポリ塩化ビフェニル類 (PCBs), ヘキサクロロベンゼン (HCB), ペンタクロロベンゼン (PeCBz) 等のように残留性有機汚染物質 (POPs: persistent organic pollutants) として「POPsに関するストックホルム条約」によって国際的に排出削減が求められる物質が含まれている [1]。また、PBDD/Fs についても世界保健機関 (WHO) および国際化学物質安全性計画 (IPCS) の専門家会合で毒性評価の高優先度物質として議論され、その後、PCDD/Fs と同等に国際的に管理すべきと提案されている [3,4]。

熱プロセスにおける PCDD/Fs の生成に影響する因子は、燃焼の技術レベル、制御温度、反応時間、反応媒体中の化学組成などが挙げられる [1]。中でも銅や鉄といった重金属によって PCDD/Fs 生成が促進されることがよく知られている。都市ごみ焼却飛灰を模した組成の試料 (模擬飛灰) において再加熱実験を実施すると、添加する金属化合物の種類によって PCDD/Fs, PCBs, HCB および PeCBz を含むクロロベンゼン類 (CBzs) の生成量が桁違いに異なることや、平均塩素数に違いがみられることが明らかになっている [5]。定量実験で得られる知見は、入力 (金属化合物の種類) と出力 (PCDD/Fs 等の生成量) の関係性であり、

熱プロセス中で動的に生じている化学反応を知るには限界がある。筆者らは、X線吸収微細構造 (XAFS) 法による化学形態分析を適用し、重金属の熱化学的な変化を捉えることで、有機ハロゲン化合物の生成機構を詳細化することを研究テーマとして推進してきた。金属種として銅 [6-11], 鉄 [12], 亜鉛 [13], 鉛 [14], クロム [15], ハロゲン種としては塩素 [16-19] だけでなく臭素 [11] も対象として研究を展開してきた。本稿では、主に銅に関する結果とともに、e-waste の野焼きのフィールド調査で得られた野焼き土壌試料を用い、重金属化学形態と有機ハロゲン化合物の関係を議論した実現場への応用例 [20] について紹介する。

2. 実験方法

2-1. その場観察 XAFS

本テーマを進める上で核となる技術として、その場観察 XAFS (*in situ* XAFS) 法が挙げられる。これは、反応ガス流通下で温度を変化させながら XAFS スペクトルを測定する方法である。銅の研究では、模擬飛灰として塩化第二銅二水和物 ($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), 活性炭, 窒化ホウ素 (BN) を混合しディスク状に成型したものを使用した [7]。通常の都市ごみ焼却プロセスで一次燃焼後に発生する未燃分の粒子状物質 (飛灰) に含まれる銅は、塩化物および酸化物の混合した状態で存在している [6] ことから、塩化物を想定した模擬飛灰を用いた。模擬飛灰ディスクを石英ガラス製の T 型セル内に設置して密閉した。二次燃焼ゾーンの酸素が不足した雰囲気をも想定した 10% 酸素 (残り窒素) の混合ガスを 50 mL/min で流通させ、室温から 400°C まで段階的に昇温させながら銅の K 端 XAFS スペクトルを、SPRING-8 のビームライン BL01B1 で測定した [7]。昇温させながらの測定のため、できるかぎり短時間に XAFS スペクトル

を測定する必要があったことから、quick scan モードによる透過法で1スペクトル当たり2.5 minで測定した。

同様の模擬飛灰に対して、塩素のK端XAFSの測定も実施した。しかしながら、塩素の吸収端エネルギーが低いことから真空下での測定が必要であったため *in situ* XAFS法は適用できず、加熱後の模擬飛灰残渣を作成した [7]。ただし、これ以降の展開として、セル形状の改良、セルの測定ハッチ内レイアウト、および反応ガス組成の検討を加えることで塩素のK端を *in situ* XAFS法で測定することに成功した [15]。これらの塩素のK端XAFSの測定は、PFのビームラインBL-11BおよびBL-9Aにて実施した。

2-2. 廃電気・電子製品の野焼き土壌

e-wasteの野焼きフィールドとして、世界でも最大規模として知られるガーナのAgbogbloshie市場において、2010年8月に野焼き後の表層土壌（土壌と灰の混合物）を10地点から採取した [20]。現地の野焼き風景をFig. 1に示す。通常の廃棄物とは異なるe-wasteの野焼きは、ガーナに限った現象ではなくアジア圏でも広く実施されており、かつ、非常に粗雑な方法で処理が進められている。現在、e-waste野焼きによる有害性のある無機・有機化合物の発生状況について世界中の研究者が実態解明に乗り出している。本研究ではガーナで採取した野焼き土壌を、重金属を含む元素、PCDD/Fs、ダイオキシン様PCBs (DL-PCBs)、PBDD/Fs、一臭素化した塩素化ダイオキシン類およびフラン類 (MoB-PCDD/Fs) の定量分析に供した [21,22]。重金属とダイオキシン類塩化合物 (DRCs) との含有量の関係性について、統計的な解析 (相関分析、階層的クラスタ分析、主成分分析) を実施した。有意な関係性が見られた銅、鉛、亜鉛について化学形態を把握するために、それぞれの吸収端のXAFSを、PFのビームラインBL-9AおよびBL-12Cにて蛍光法で測定した [20]。



Figure 1 Open burning of electronic waste (e-waste) in Agbogbloshie market, Ghana.

3. 結果と考察

3-1. 塩化第二銅による炭素の直接塩素化機構

実際の都市ごみ焼却飛灰における有機塩素化合物の生成に銅がどのように関与しているかを、*in situ* XAFS法を用いたアプローチでその一端を解明した。上述の $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ を含有した模擬飛灰を酸素10%雰囲気下で昇温した際の、広域XAFS (EXAFS) 振動のフーリエ変換、その解析によって得られた銅-塩素結合 (Cu-Cl) および銅-酸素結合 (Cu-O) の配位数の変化をFig. 2に示す [7]。EXAFS振動のフーリエ変換 (Fig. 2A) からは、中心の銅原子から一定距離に配位している原子の結合距離および配位数を定性的に知ることが可能である。詳細な解析手順は省くが、フーリエ変換スペクトルの解析の結果、塩化第二銅として存在していた初期状態から300°C前後および380-400°Cにかけて二段階の「脱塩素化」が生じていること、二段階目に銅は酸化され最終的に酸化銅 (CuO) として安定することが明らかとなった (Fig. 2B)。

他方、塩素のX線吸収端近傍構造 (XANES) の解析から、銅から脱塩素化した塩素が炭素に結合していることが明らかとなった (Fig. 3) [7]。XANESスペクトルから、昇温前は塩化第二銅に由来するプレッジ構造が昇温とともに小さくなり、最も吸収の大きいピーク (最大ピーク) 位置が300°Cで一度低エネルギー側にシフトし、それ以後

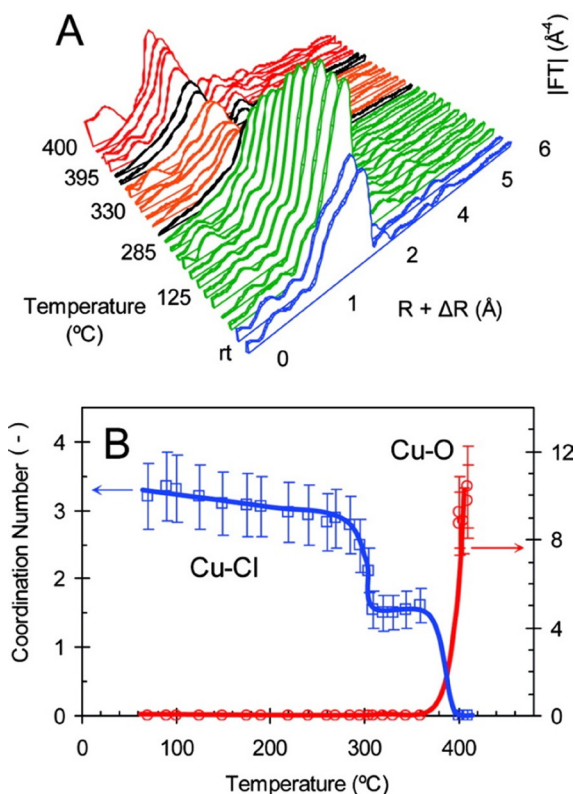


Figure 2 Fourier-transformed EXAFS (A) spectra of MFA upon heating from room temperature (rt) to about 400°C at a rate of 5°C/min under a 10% oxygen gas stream (50 mL/min). The coordination numbers of the Cu-Cl and Cu-O shells as a function of temperature are shown in (B) as fitted from the EXAFS spectra upon heating [7].

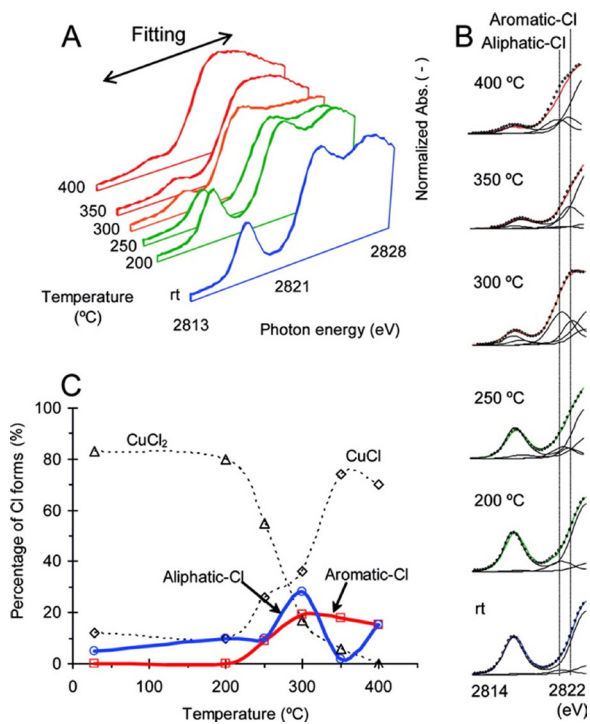
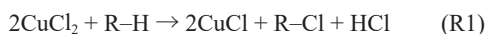


Figure 3 Cl K-edge XANES spectra (A) after MFA was heated for 30 min under a 10% oxygen gas stream (50 mL/min) at constant temperatures up to 400°C. Linear combination fit using reference materials of chlorine shown in (B). The calculated spectral fits (dotted line) and measurement spectra (bold line) at each temperature were good. The percentage of Cl-species as a function of temperature is shown in (C) [7].

上の温度で再度高エネルギー側にシフトする様子がみられた (Fig. 3A)。塩素を含有する構造既知の試薬を測定して得られた標準 XANES スペクトルのライブラリを丁寧に解析した結果、最大ピーク位置によって塩素の結合元素が脂肪族炭素 (2820.4 eV)、芳香族炭素 (2821.1 ± 0.1 eV)、無機元素 (約 2822-2824 eV) の別に分類できることが明らかとなった [7,16]。構造的な特徴を加味すると、300°C における低エネルギー側の最大ピークは塩素と芳香族炭素との結合 (Aromatic-Cl) に由来することが判明した (Fig. 3B)。塩素の結合対象別に存在割合の温度変化を調べると、Aromatic-Cl が 300°C で最大割合を示した (Fig. 3C)。

銅および塩素の XAFS スペクトルの解析により、分子レベルでの熱化学的な変化を理解することができ、その結果以下の直接塩素化反応 (R1) が有機塩素化合物の生成に寄与していることが明らかとなった：



ここで、R は有機炭素を意味する。この直接塩素化反応 (R1) は主に 300°C 前後で生じるが、380-400°C でも銅からの脱塩素化は進行している。この二段階目では酸化銅が生じ始め、これにより炭素の CO₂ や CO へのガス化が促進され、有機塩素化合物自体が分解される効果もあることが分かった [23]。炭素の塩素化とガス化の正味のバランスとして、300°C で有機塩素化合物の生成が最大となると考えられ、この傾向は実際の都市ごみ焼却飛灰からの PCDD/Fs

再合成生成量の温度プロファイルと一致した [24]。

3-2. 廃電気・電子製品の野焼き土壌

ガーナの Agbogbloshie 市場から採取した e-waste 野焼き土壌に対して種々の機器分析による定量を実施した結果、高濃度の重金属 (銅、鉛、亜鉛など) および PCDD/Fs および PBDD/Fs などの DRCs で汚染されていることが明らかとなった [20,21,22]。有機ハロゲン化合物では、特にフラン類である PCDFs および PBDFs が突出して高い濃度レベルを示し、それぞれ最大で 360 ng/g dw (Cl₄-Cl₈ の総和) および 3800 ng/g dw (Br₄-Br₈ の総和) であった [20]。

10 地点の重金属を含む元素および DRCs の濃度分布パターンを標準化し、階層的クラスター分析によるグループ化の結果を加味した主成分分析のプロットを Fig. 4 に示す。主成分 1 (PC1) および主成分 2 (PC2) で全データの 80.3% を表現しており、PC1 は「e-waste 野焼きの影響」を、PC2 は「特異的な汚染物質の排出」を意味するものと解釈された。DRCs と銅 (Cu) および鉛 (Pb) は PC1 が高い正の値かつ PC2 がゼロ付近の非常に近い位置に集中していることから、e-waste 野焼きの影響を顕著に受けている成分であり、それぞれに密接な関連性のあることが明らかとなった [20]。他方、重金属を含む元素と DRCs の相関関係を分析した結果、Cu および Pb に非常に強い有意な正の相関関係があることが示された (Fig. 5) [20]。Cu は PCDDs, PCDFs, PBDFs, MoB-PCDFs と有意な強相関 ($p < 0.001$), MoB-PCDDs および DL-PCBs はそれぞれ $p < 0.01$ および $p < 0.05$ の有意な相関関係が示された。特に Cu は、e-waste 野焼きでの発生が顕著なフラン類 (PCDFs, PBDFs, MoB-PCDFs) と強い関連性があるといえる。Pb も Cu 同様にフラン類や PCDDs との有意な相関関係が示された。亜鉛 (Zn) や臭素 (Br)、ストロンチウム (Sr) にも DRCs の一部との有意な相関がみられたが、鉄 (Fe) とコバルト (Co) では有意な相関はみられなかった。以上の統計解析を統合すると、e-waste 野焼きでは DRCs の生成に銅が特に強い影響を持っている可能性があると考えられた。

そこで、同じ e-waste 野焼き土壌の銅の K 端 XANES ス

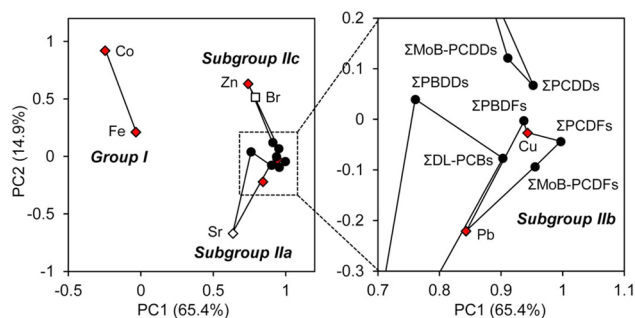


Figure 4 The principle component analysis of elements and dioxin-related compounds (DRCs) in soils of e-waste open burning sites (n = 10) [20].

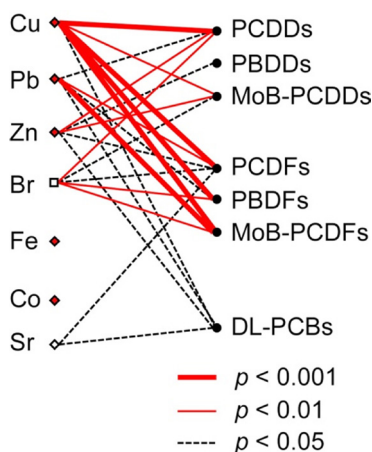


Figure 5 Pearson's correlation analyzes between elements (Cu, Pb, Zn, Br, Fe, Co, and Sr) and dioxin-related compounds (DRCs) using the dataset of soils of e-waste open burning sites (n = 10) [20].

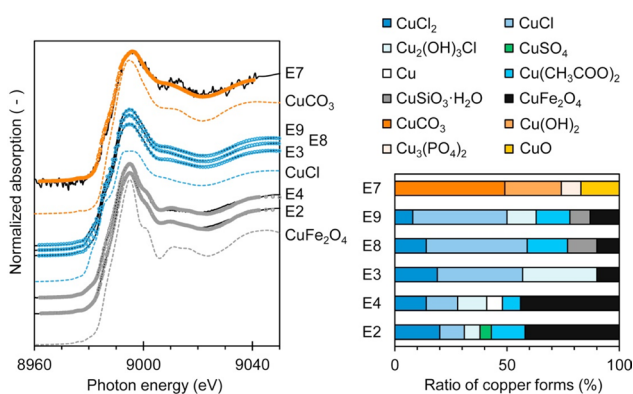


Figure 6 The chemical forms of copper in soils from six representative e-waste open burning sites. Measurement spectra of Cu K-edge XANES (left). Solid and dashed lines are measurement and reference spectra, respectively. Colored circle indicates fitting spectrum by the linear combination of references. Ratio of copper chemical forms (right) [20].

ペクトルを測定し、銅の化学形態を解析した。Fig. 6 に示すように、分析に供した6試料中5つにおいて、銅の塩化物であるCuCl、CuCl₂、およびCu₂(OH)₃Clが主要成分として同定された[20]。e-waste野焼きの目的のひとつに、ケーブル・ワイヤー類に含まれる金属銅の回収がある。被覆材を焼くことで銅だけを回収する、非常にシンプルな方法である。また、被覆材として使用されるポリマーのひとつにポリ塩化ビニル(PVC)が使用されている。したがって、PVCの熱分解生成物と金属銅が反応することで銅の塩化物が生じ、最終的に野焼き土壤中に存在している可能性がある。現在、金属銅とPVCとの熱化学反応について、銅だけでなく塩素に関しても*in situ* XAFS法を適用した機構研究を展開しており、上述の反応が生じていることを確認している[25]。

e-waste野焼き土壤で見られた銅と有機塩素化合物の関係性と銅の化学形態から、既述の塩化第二銅による直接塩

素化反応(R1)が生じている可能性が考えられる。e-wasteの野焼きと都市ごみ焼却飛灰の加熱とは、対象となる媒体、組成、燃焼状態などが大きく異なるにも関わらず、有機塩素化合物の生成機構には銅を介した共通性を見出すことができた。

4. まとめ

4-1. モデル系と実現場の架橋

本稿では、有機ハロゲン化合物と重金属の関係を探る研究テーマの内から、具体的なトピックとして有機塩素化合物と銅の関係について放射光を応用して得られた結果の一部を紹介した。塩化第二銅による直接塩素化反応(R1)を解明した研究[7]は、組成を単純化した模擬飛灰を用いて昇温プロセスや反応ガスを制御したセルを利用した*in situ* XAFS法によるものであり、いわゆる「モデル系」の研究系といえる。他方、ガーナのAgbogbloshe市場は、現実にe-wasteが野焼きされている「実現場」であり、そこから採取した野焼き土壤中の重金属を含む元素およびDRCsの分析、統計解析、およびXAFS法による化学形態分析を実施した知見である[20]。

両者の研究成果を受けて、e-waste野焼き土壤から得られた銅の化学形態と、銅とDRCs(特にフラン類)との有意な強相関から、モデル系で得られた直接塩素化反応(R1)が寄与している可能性が示された[7,20]。さらに、実現場で得られた結果によって、金属銅とPVCの反応系という新たなモデル系を見出した[25]。このように、モデル系と実現場を架橋し、得られた知見を相互に行き来させることで新たな考察や進展につながるという。放射光施設で分子レベルの分析をし、現場に出て實際を目の当たりにする。この両面が研究への理解を相補的に駆動していくことを実感している。モデル系と実現場を両立させる研究展開には長期間を必要とする。本稿で紹介したモデル系[7]と実現場[20]の研究成果に横たわる7年間の隔たりが、その具体例である。そのため、短期的なテーマを有機的に連動させていく研究計画や、あるいは、それぞれの系の専門家同士の協働が求められる。

4-2. 共通機構への進展

有機塩素化合物と銅の関係について研究を深めていく中で、出発物質として銅、炭素、塩素の集合として捉えると見通しが良くなるのが分かってきた。以降の文章では、集合の概念を用いた記述を試みるが、厳密な数学的な意味で用いている訳ではなく、あくまで理解の補助となる表現として用いた。ここで、集合として(Cu, C, Cl)を考えたとき、部分集合である(Cu, Cl)と(C)を抜き出すと上記の塩化第二銅(CuCl₂)と活性炭の組み合わせになる[7]。別の部分集合である(Cu)と(C, Cl)を抜き出すと金属銅とPVCの組み合わせになる[25]。どちらの組み合わせも、酸化雰囲気下で熱を加えると有機ハロゲン化合物が生成する[5,7,25]。(Cu, Cl)の候補には塩化第一銅(CuCl)、(C)の候補にはプラスチック類などのポリマーも考えられる。この

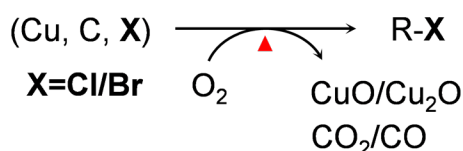


Figure 7 Conceptual reaction scheme on generation of organohalogen compounds (R-X) by thermochemical interaction among copper, carbon, and halogens.

発想に基づいて、塩素の項を臭素とした (Cu, C, Br) の場合でも、同様の反応が進む可能性がある。実際に (Cu, C, Br) の部分集合である (Cu, Br) と (C) を抜き出した臭化第二銅 (CuBr₂) と活性炭の系で、有機臭素化合物の生成を確認した研究例 [26] があり、筆者らも *in situ* XAFS 法により CuCl₂ と相似形の化学形態変化を CuBr₂ が起こしていることを明らかにしつつある [11]。また、(Cu) と (C, Br) を抜き出した系として金属銅と臭素系難燃剤 (BFRs) の反応系についても実験を進めている [27]。

以上の着想を概念図として Fig. 7 に示す。集合として (Cu, C, X) を考えたとき、酸化雰囲気下で熱化学的に有機ハロゲン化合物 (R-X) が生成する様子をイメージしたものである。銅を介在して、塩素だけではなく臭素においても共通した機構で有機ハロゲン化合物の熱化学的生成に関与していることが示唆される。本稿の「はじめに」で述べた銅以外の重金属 (鉄, 鉛, 亜鉛, クロム) について類似の考え方が適用可能かは不明であり、今後の研究展開次第と考える。

5. 謝辞

本研究課題を推進するにあたって、関連課題を研究して頂いた藤永泰佳様、谷野佑太様、西本芳洋様、中村まどか様、西村智椰様、小島雄祐様、向井康太様 (京都大学、当時) に感謝いたします。ガーナの研究においては後藤哲智博士、大塚将成様、高橋真教授、田辺信介教授 (愛媛大学)、Kwadwo A. Asante 博士 (CSIR Water Research Institute) に感謝いたします。放射光施設利用に関して、PF (BL-9A, BL-11B, BL-12C: 2007G069, 2009G632, 2016G029), SPring-8 (BL01B1: 2005B0439, 2015B1256, 2016B1207, 2018A1346) におけるビームタイムおよびビームラインスタッフの方々に感謝いたします。本成果の一部は、科研費若手 A (26701012, 17H04718) に基づくものです。

引用文献

- [1] 藤森崇, 川本克也, 廃棄物資源循環学会誌 **30**, 201 (2019).
- [2] M. Altarawneh, A. Saeed, M. Al-Harashsheh and B.Z. Dlugogorski, Prog. Energy Combust. Sci. **70**, 212 (2019).
- [3] M. Van den Berg *et al.*, Toxicol. Sci. **93**, 223 (2006).
- [4] M. Van den Berg *et al.*, Toxicol. Sci. **133**, 197 (2013).
- [5] T. Fujimori, M. Takaoka and N. Takeda, Environ. Sci. Technol. **43**, 8053 (2009).

- [6] M. Takaoka *et al.*, Environ. Sci. Technol. **39**, 5878 (2005).
- [7] T. Fujimori and M. Takaoka, Environ. Sci. Technol. **43**, 2241 (2009).
- [8] M. Takaoka *et al.*, Chemosphere **80**, 144 (2010).
- [9] T. Fujimori and M. Takaoka, J. Hazard. Mater. **197**, 345 (2011).
- [10] T. Fujimori, Y. Nishimoto, K. Shiota and M. Takaoka, Environ. Sci. Technol. **48**, 13644 (2014).
- [11] T. Fujimori and Y. Kojima, ISPTS 2018 in proceedings (2018).
- [12] T. Fujimori, M. Takaoka and S. Morisawa, Environ. Sci. Technol. **44**, 1974 (2010).
- [13] T. Fujimori, Y. Tanino and M. Takaoka, Environ. Sci. Technol. **45**, 7678 (2011).
- [14] T. Fujimori, Y. Tanino and M. Takaoka, Environ. Sci. Technol. **47**, 2169 (2013).
- [15] M. Zhang *et al.*, Organohalogen Cmpds. **80**, 49 (2018).
- [16] T. Fujimori, Y. Tanino, M. Takaoka and S. Morisawa, Anal. Sci. **26**, 1119 (2010).
- [17] T. Fujimori, H. Takigami and M. Takaoka, J. Phys. Conf. Ser. **430**, 012094 (2013).
- [18] K. Mukai *et al.*, ACS Omega **4**, 6126 (2019).
- [19] K. Mukai, T. Fujimori, K. Shiota and M. Takaoka, Chemosphere **233**, 493 (2019).
- [20] T. Fujimori *et al.*, Environ. Pollut. **209**, 155 (2016).
- [21] T. Itai *et al.*, Sci. Tot. Environ. **470-471**, 707 (2014).
- [22] N.M. Tue *et al.*, J. Hazard. Mater. **302**, 151 (2016).
- [23] D.W. McKee, Carbon **8**, 623 (1970).
- [24] K. Everaert and J. Baeyens, Chemosphere **46**, 439 (2002).
- [25] M. Zhang, T. Fujimori, X. Li, K. Shiota and M. Takaoka, Dioxin 2019 in proceedings (2019).
- [26] N. Ortuño, J.A. Conesa, J. Moltó and R. Font, Environ. Sci. Technol. **48**, 7959 (2014).
- [27] Y. Kojima *et al.*, Dioxin 2017 in proceedings (2017).

(原稿受付日: 2019年9月10日)

著者紹介

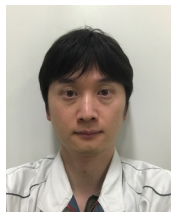
藤森崇 Takashi FUJIMORI



京都大学大学院工学研究科 都市環境工学専攻 助教
〒615-8540
京都市西京区京都大学桂Cクラスター
TEL: 075-383-3339
e-mail: fujimori.takashi.3e@kyoto-u.ac.jp

略歴: 2010年京都大学大学院工学研究科博士後期課程修了, 同年国立環境研究所特別研究員。2012年より現職。工学博士。最近の研究: 有害物質の環境影響, 処理, および生成・抑制機構。
趣味: 研究と無関係な読書。

塩田憲司 Kenji SHIOTA



京都大学大学院工学研究科 都市環境工学専攻 技術専門職員

〒 615-8540

京都市西京区京都大学桂 C クラスター

TEL: 075-383-7550

e-mail: shiota.kenji.4x@kyoto-u.ac.jp

略歴：2000年大阪大学理学部化学科卒業。2004年京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻技術職員。2015年より現職。

最近の研究：廃棄物熱処理残渣などの含有重金属類の定性、定量、化学状態分析。

趣味：ランニング。教科書収集。

张梦玫 Mengmei ZHANG



京都大学大学院工学研究科 都市環境工学専攻 JSPS 外国人特別研究員

〒 615-8540

京都市西京区京都大学桂 C クラスター

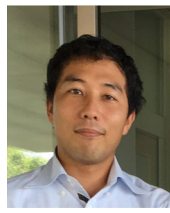
e-mail: zhang.mengmei.6n@kyoto-u.ac.jp

略歴：2019年浙江大学能源工程学院博士後期課程修了。同年より現職。工学博士。

最近の研究：有機ハロゲン化合物の熱化学的生成機構に関する研究。

趣味：研究。旅行。

板井啓明 Takaaki ITAI



東京大学大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻 准教授

〒 113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1

TEL: 03-5841-4553

e-mail: itai@eps.s.u-tokyo.ac.jp

略歴：2009年広島大学大学院理学系研究科博士課程修了，同年愛媛大学沿岸環境科学研究センター助教。2017年より現職。博士（理学）。最近の研究：水圏 - 土壌圏 - 生物圏における微量元素循環機構に関する地球化学的研究。

趣味：散歩。歴史。

高岡昌輝 Masaki TAKAOKA



京都大学大学院工学研究科 都市環境工学専攻 教授

〒 615-8540

京都市西京区京都大学桂 C クラスター

TEL: 075-383-3335

e-mail: takaoka.masaki.4w@kyoto-u.ac.jp

略歴：1993年京都大学大学院工学研究科修士課程修了，同年京都大学工学部助手。2011年より現職。工学博士。

最近の研究：廃棄物の処理・処分・管理。

趣味：旅行。食べること。

鉄硫黄クラスターが関与する tRNA チオ化修飾酵素の詳細な反応機構解明を目指した研究

石坂優人¹, 陳明皓², 奈良井峻¹, 堀谷正樹³, 田中良和^{2,4}, 姚閔^{1,2}¹北海道大学大学院 生命科学院 生命科学専攻, ²北海道大学大学院 先端生命科学研究院,³佐賀大学農学部 生命機能科学科, ⁴東北大学大学院 生命科学研究科 分子化学生物学専攻

Studies on the Detailed Reaction Mechanism of tRNA Thiolation Enzymes Involved in Iron-Sulfur Clusters

Masato ISHIZAKA¹, Minghao CHEN², Shun NARAI¹, Masaki HORITANI³, Yoshikazu TANAKA^{2,4}, and Min YAO^{1,2}¹Graduate School of Life Science, Hokkaido University, ²Faculty of Advanced Life Science, Hokkaido University,³Department of Applied Biochemistry and Food Science, Faculty of Agriculture, Saga University,⁴Graduate School of Life Sciences, Tohoku University

Abstract

tRNA がタンパク質の生合成を担うためには、チオ化などの転写後修飾によって成熟化される必要がある。TtuA は硫黄ドナータンパク質 TtuB と共に tRNA をチオ化修飾する酵素であり、酸化に対して脆弱な「鉄硫黄クラスター」を補因子に持つ。これまで、TtuA は TtuB から硫黄原子を受け取ることは知られていたが、鉄硫黄クラスターの役割についての詳細は明らかではなかった。そこで本研究では、TtuA の酵素活性に重要な残基を解明し、TtuA の詳細な反応機構を提唱した。

1. はじめに

運搬リボ核酸 (tRNA) は遺伝暗号に従ってアミノ酸を運搬し、タンパク質の生合成に関与する重要な分子である。tRNA は伝令 RNA(mRNA) 同様に DNA から転写により合成されるが、転写直後の未成熟 tRNA は正しく機能できない。そのためスプライシング、3' 末端への CAA 付加、塩基修飾などの転写後修飾による成熟化過程を必要とする [1]。その中でも塩基修飾はメチル化、アセチル化、チオ化など 100 種類以上が知られている [2,3]。

チオ化修飾は真正細菌・古細菌・真核生物の 3 つの生物ドメイン全てでおこる普遍的な生命現象であり、tRNA の熱安定性向上 [4,5]、近紫外線感知 [6,7]、翻訳の正確性向上 [8-10] を担う。また、コドン 3 文字目を決める tRNA34 位 (Wobble 位) のチオ化修飾欠損は、筋力低下や脳卒中様の症状を伴う難病であるミトコンドリア病 (MERRF や MELAS) の発症に繋がる [11,12]。したがって、チオ化は普遍的かつ重要な修飾である。

チオ化修飾はこれまでに 16 種類発見されており、主に 2-チオウリジン、4-チオウリジン、2-チオシチジン、2-メチルチオ-N⁶-メチルアデノシンの 4 種類に分類される [13]。さらに、チオ化修飾酵素は ATP を用いるタイプと S-アデノシルメチオニン (SAM) を用いるタイプの 2 つに大別できる。前者はさらに、MnmA 型と TtuA 型に分類される [14] (Fig.1)。MnmA 型はペルスルフィド (R-SSH) と ATP を利用して tRNA に硫黄を転移する酵素であり、アデニル化 tRNA との中間体構造および活性測定による重要残基の同定から、反応機構が解明されている [15,16]。

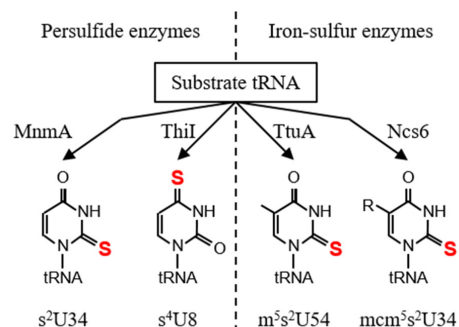


Figure 1 tRNA thiolases and those products (left: MnmA-type, right: TtuA-type). MnmA, ThiI, TtuA and Ncs6 are responsible for formation of 2-thiouridine at position 34 of tRNA (s²U34), 4-thiouridine at position 8 of tRNA (s⁴U8), 5-methyl-2-thiouridine at position 54 of tRNA (m⁵s²U54), and 5-methoxycarbonylmethyl-2-thiouridine at position 34 of tRNA (mcm⁵s²U34, -R = -CH₂COOCH₃), respectively.

一方で TtuA 型は「鉄硫黄クラスター」と ATP を用いて硫黄を転移する [17,18]。しかしながら、その反応機構の詳細は未だ明らかでない。

2. 2-チオウリジン合成酵素 TtuA と Ncs6 の類似性

ヒト tRNA34 位のチオ化修飾を担う Ncs6 (別名: Ctu1) は鉄硫黄クラスターが関与する TtuA 型酵素である [19,20]。Ncs6 は硫黄ドナータンパク質 Urm1 の C 末端から硫黄を受け取り、3 種類の細胞質 tRNA (tRNA^{Gln(UUG)}, tRNA^{Glu(UUC)}, tRNA^{Lys(UUU)}) へと転移する (Fig. 2 left) [21-

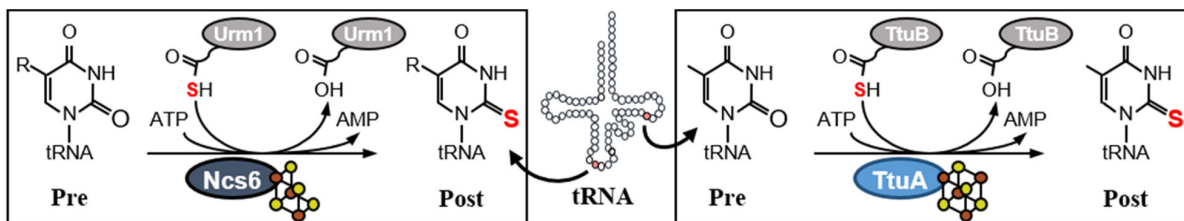


Figure 2 tRNA thiolation catalyzed by TtuA-type enzymes and sulfur donor proteins (left: Ncs6-Urm1, right: TtuA-TtuB). The objects colored in brown (iron) and yellow (sulfur) are iron-sulfur clusters ([3Fe-4S] for Ncs6 and [4Fe-4S] for TtuA). TtuB and Urm1 are thiocarboxylate sulfur donors (R-COSH) at the C-termini.

Table 1 Sequence similarity between TtuA-related proteins from *Thermus thermophilus* and Ncs6-related proteins from *Homo sapiens*.

Protein names	Similarity	Note
TtuA vs Ncs6	52%	TtuA/Ncs6 superfamily, Iron-sulfur proteins
TtuB vs Urm1	56%	Homologs of ubiquitin, Sulfur donor proteins
TtuC vs UBA4	46%	Homologs of ubiquitin activating protein (E1)

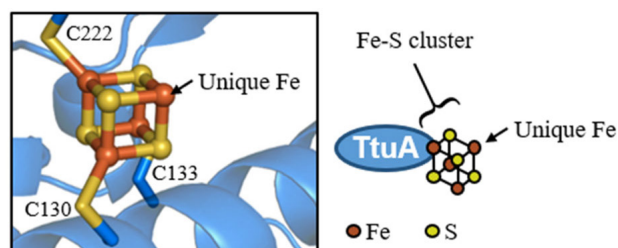


Figure 3 Structure of catalytic center of TtuA. The [4Fe-4S] cluster is shown as ball-and-stick models (PDBID: 5B4F).

23]. Ncs6 は翻訳の正確性に関わる重要な酵素だが、鉄硫黄クラスターが容易に酸化崩壊することも相まって [24], Ncs6 の構造は明らかでない。そこで我々は、鉄硫黄クラスターを用いる tRNA チオ化修飾酵素の中で、唯一 X 線構造が既知の 2-チオウリジン合成酵素 (TtuA) に焦点を当てた [14,25]。

TtuA は Ncs6 の原核生物ホモログであり、好熱菌の tRNA を硫黄修飾することで塩基の構造変化を起こす。この修飾により D ループと T ループとの相互作用が強まり (tRNA の熱安定性が高くなり)、高温環境下で生存できるようになる [25-28]。TtuA はチオカルボキシル型硫黄ドナータンパク質 TtuB (Urm1 ホモログ) と共に、基質 tRNA54 位に存在する 5-メチルウリジンの 2 位の酸素原子を硫黄原子に置換する反応を触媒する (Fig. 2 right)。また、TtuA と Ncs6、それらに硫黄を渡す TtuB と Urm1、および遊離システインから TtuB (Urm1) への硫黄運搬に関わる TtuC と UBA4 のアミノ酸の配列類似性は高い (Table1) [29,30]。したがって本研究では構造情報がある TtuA に着目し、鉄硫黄クラスターを用いる tRNA チオ化修飾の反応機構を解明することで、Ncs6 の反応機構までも議論する。

3. TtuA の構造および硫黄転移反応機構仮説

先行研究の X 線構造解析により、TtuA の活性部位には 4 つの鉄原子と 4 つの硫黄原子から成る [4Fe-4S] 型鉄硫黄クラスターが存在することが解明された [17,18]。この複合体構造では鉄硫黄クラスターを構成する 4 つの鉄原子のうち 3 つがシステインモチーフ (CXXC...C) に結合しており、残りの 1 つのむき出しの鉄 (ユニーク鉄) は TtuB と結合すると考えられた (Fig. 3)。そして、ユニーク鉄が

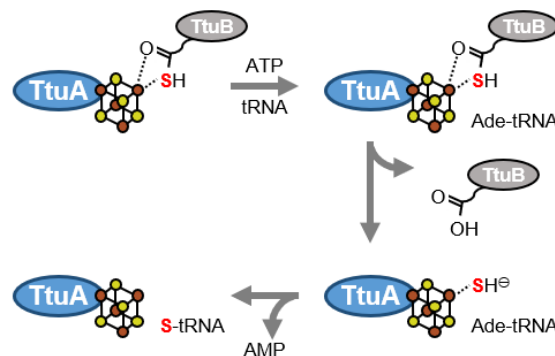


Figure 4 Proposed sulfur transfer mechanism. S-tRNA and Ade-tRNA mean m^3s^2U54 and adenylated tRNA, respectively.

TtuB から硫黄を受け取り、基質 tRNA へ硫黄を転移するという新たな tRNA チオ化修飾反応が提唱された。そこで本研究では、TtuA, TtuB による tRNA チオ化修飾機構の証明を試みた (Fig. 4)。

4. TtuB からの硫黄の受け取り

第一に、電子スピン共鳴法 (ESR) で鉄周りの構造を解析し、溶液中で鉄硫黄クラスターが TtuB の C 末端を結合するかを確認した。(i). TtuA 単独, (ii). (i) に TtuB-COOH を混ぜたもの, (iii). (i) に Na_2S を混ぜたもの, (iv). (i) に TtuB-COSH を混ぜたもののシグナルを比較すると, (iii) と (iv) の線形, g 値が一致し, (iv) の信号強度が 10 倍であった。これらは、TtuB の C 末端にある硫黄原子がユニーク鉄に効率的に結合して、鉄硫黄クラスターの構造変化を引き起こすことで、酸化還元電位が変化したことを示唆している (Table2) (投稿中)。

Table 2 Structures around the of iron-sulfur cluster of TtuA in solution.

Components	Signal	Structures
(i) [4Fe-4S]-TtuA	Type 1	
(ii) (i) + TtuB-COOH	Type 2	
(iii) (i) + Na ₂ S	Type 3	
(iv) (i) + TtuB-COSH	Type 3 Intensity: 10 times higher than (iii)	

次に、反応溶液中の硫黄を追跡できる水銀ゲル電気泳動 (APM-SDS-PAGE) を行い [31-33], 「TtuB を持つ真正細菌の TtuA」は TtuA, TtuB, tRNA, ATP がそろった時に、TtuB の硫黄をユニーク鉄が受け取ることを確認した (Fig. 4)。「TtuB の代わりに無機硫黄 S²⁻ を用いる古細菌の TtuA」でも [4Fe-4S] 型鉄硫黄クラスターのユニーク鉄が硫黄を受け取るため [18], TtuB の有無や生物ドメインに依らず、TtuA はユニーク鉄を用いて tRNA をチオ化修飾すると結論付けた (投稿中)。

5. 酵素活性に重要なアミノ酸残基とその役割の同定

次に我々は、TtuB の C 末端からユニーク鉄へと硫黄が渡される際、TtuA のどのアミノ酸残基が関わるかを解明するために、X線結晶構造に基づいて *T. thermophilus* TtuA の変異体を 10 種類作製した。さらに高速液体クロマトグラフィー (HPLC) を用いた生化学実験により、変異体の 2-チオウリジン合成活性を評価した。その結果と構造情報を合わせ、tRNA を活性化する TtuA 残基と、TtuB からの硫黄の受け取りに関与する TtuA 残基を同定した (投稿中)。

ここで真正細菌および古細菌 (それぞれ TtuB を持つものと持たないもの) の TtuA, ヒトおよび出芽酵母の Ncs6

の合計 6 種類についてアミノ酸残基の配列比較を行った (Fig. 5)。その結果、前述の重要残基がいずれも保存されていたことから、Ncs6 も同じ残基を用いて tRNA の活性化や硫黄運搬を行うと推定された。

6. 鉄硫黄クラスターの電荷変化に伴う TtuA の構造変化

鉄硫黄クラスターを持つタンパク質では、クラスターの電荷によって構造が変化することがある。たとえば NADH などの電子ドナーが関与するヒドロゲナーゼ、ニトロゲナーゼ、キノンオキシドレダクターゼが挙げられる [34-36]。一方で、電子ドナーを必要としないアコニターゼのように、ユニーク鉄が酸化還元反応を触媒せずに基質を配位する鉄硫黄クラスタータンパク質も存在する [37]。TtuA の鉄硫黄クラスターはアコニターゼと同様の機構で基質を配位していると考えられているが [18], さらに理解を深めるために還元型 TtuA の結晶構造解析を行った。

得られた分解能 3.3 Å の非還元型 (+2 価, $S = 0$ のため ESR で検出できない) と分解能 3.5 Å の還元型 (+1 価, $S = 1/2$ のため ESR で検出可能) の構造を重ねて比較した結果、構造変化は観察されなかった (全体構造 (C α): RMSD = 0.160 Å, 活性部位の重要残基 7 つ (C α): RMSD = 0.119 Å)。したがって、ESR 測定に必要なジチオナイト還元処理は TtuA の鉄硫黄クラスターの性質や構造を変化させないと結論付けた (Fig. 6)。

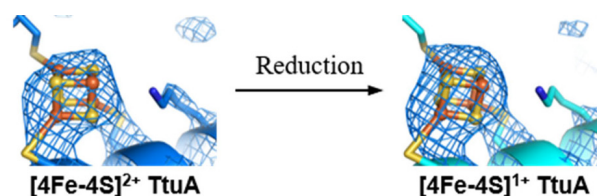


Figure 6 Structural comparison of TtuAs in the two redox conditions. [4Fe-4S]²⁺ TtuA (left) are reduced to [4Fe-4S]¹⁺ TtuA (right) by dithionite in the anaerobic chamber. 2Fo-Fc map contoured at 2.0 σ (blue).

Organism		A part of amino acid sequences							
Thermophilic bacterium (<i>T. thermophilus</i>)	TtuA, TtuB	<u>S55</u> ... <u>D59</u> ... <u>C130</u> ... <u>C133</u> ... <u>K137</u> ... <u>D161</u> ... <u>C222</u>							
Thermophilic archaeon (<i>A. aeolicus</i>)	TtuA, inorganic S ²⁻	<u>S</u> ... <u>D</u> ... <u>C</u> ... <u>C</u> ... <u>K</u> ... <u>D</u> ... <u>C</u>							
Thermophilic bacterium (<i>T. maritima</i>)	TtuA, TtuB	<u>S</u> ... <u>D</u> ... <u>C</u> ... <u>C</u> ... <u>R</u> ... <u>D</u> ... <u>C</u>							
Thermophilic archaeon (<i>P. horikoshii</i>)	TtuA, inorganic S ²⁻	<u>S</u> ... <u>D</u> ... <u>C</u> ... <u>C</u> ... <u>K</u> ... <u>D</u> ... <u>C</u>							
Human (<i>H. sapiens</i>)	Ncs6, Urm1	<u>S</u> ... <u>D</u> ... <u>C</u> ... <u>C</u> ... <u>R</u> ... <u>D</u> ... <u>C</u>							
Budding yeast (<i>S. cerevisiae</i>)	Ncs6, Urm1	<u>S</u> ... <u>D</u> ... <u>C</u> ... <u>C</u> ... <u>R</u> ... <u>D</u> ... <u>C</u>							

Figure 5 Sequence alignment of TtuAs and Ncs6s. The completely conserved residues and highly conserved residues are highlighted in red and yellow, respectively. The residue numbers are indicated in our target protein, TtuA from *T. thermophilus*. The anchor residues of the iron-sulfur cluster are underlined.

7. まとめと今後の展望

本研究は分光学・生化学・構造生物学の手法を組み合わせることで、TtuBの硫黄がTtuAの鉄硫黄クラスターへと運搬されることを証明した。また、TtuB由来の硫黄が鉄硫黄クラスターに転移するためには、ATPと基質tRNAも必要であること、そしてその際に関与するTtuAの残基を明らかにした。さらに、これらの結果を統合することにより、tRNAが活性化した後にTtuBの硫黄原子がユニーク鉄に転移する詳細な反応機構を提唱した。Ncs6はユニーク鉄を持たない[3Fe-4S]型の鉄硫黄クラスターを持つというESR報告がある[19]。一方で本研究では、TtuAとNcs6の共通性から両者がユニーク鉄を持つ[4Fe-4S]型の鉄硫黄クラスターを用いた、共通の反応機構でtRNAチオ化修飾を行う可能性を見出した。

今後は[4Fe-4S]-TtuA-TtuB-tRNA-ATP5者複合体のX線結晶構造解析に挑戦し、[4Fe-4S]型の鉄硫黄クラスターが担うtRNAチオ化修飾の反応機構を完全に解明したい。さらに、厳密に酸化還元状態を制御した上で人工的に[3Fe-4S]型酵素を作製し、tRNAチオ化修飾酵素の酵素活性と鉄硫黄クラスター構造の関係性解明を目指したい。

8. 謝辞

実験系立ち上げにご協力下さった、産業技術総合研究所の嶋直樹博士に御礼申し上げます。本研究では、Photon FactoryのBL-1A, BL-5A, AR-NW12A(課題番号: 2016G141)およびSPring-8のBL41XUを用いてX線回折実験を行いました。お力添え下さったビームラインスタッフの皆様にご心より感謝申し上げます。また、研究費をご提供して下さいました北海道大学大学院特別教育プログラム「新渡戸スクール」にもこの場をお借りして御礼申し上げます(Project No.: PKF8618101)。

引用文献

- [1] E.M. Phizicky and A.K. Hopper, *Genes Dev.*, **24**, 1832 (2010).
- [2] W.A. Cantara, P.F. Crain, J. Rozenski, J.A. McCloskey, K.A. Harris, X. Zhang, F.A. Vendeix, D. Fabris, and P.F. Agris, *Nucleic Acids Res.*, **39**, D195 (2011).
- [3] P. Boccaletto, M. A. Machnicka, E. Purta, P. Piątkowski, B. Bagiński, T.K. Wirecki, V. de Crécy-Lagard, R. Ross, P.A. Limbach, A. Kotter, M. Helm, and J.M. Bujnicki, *Nucleic Acids Res.*, **46**, D303 (2017).
- [4] K. Watanabe, M. Shinma, T. Oshima, and S. Nishimura, *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, **72**, 1137 (1976).
- [5] N. Shigi, T. Suzuki, T. Terada, M. Shirouzu, S. Yokoyama, and K. Watanabe, *J. Biol. Chem.*, **281**, 2104 (2006).
- [6] A. Calderia de Araujo, and A. Favre, *Eur. J. Biochem.*, **146**, 605 (1985).
- [7] E.G. Mueller, C.J. Buck, P.M. Palenchar, L.E. Barnhart, and J.L. Paulson, *Nucleic Acids Res.*, **26**, 2606 (1998).
- [8] Y. Ikeuchi, A. Soma, T. Ote, J. Kato, Y. Sekine, and T. Suzuki, *Mol. Cell*, **19**, 235 (2005).
- [9] M.K. Krüger, S. Pedersen, T.G. Hagervall, and M.A. Sørensen, *J. Mol. Biol.*, **284**, 621 (1998).
- [10] C. Yarian, H. Townsend, W. Czestkowski, E. Sochacka, A.J. Malkiewicz, R. Guenther, A. Miskiewicz, and P.F. Agris, *J. Biol. Chem.*, **277**, 16391 (2002).
- [11] T. Yasukawa, T. Suzuki, N. Ishii, S. Ohta, and K. Watanabe, *EMBO J.*, **20**, 4794 (2001).
- [12] Y. Kirino, and T. Suzuki, *RNA Biol.*, **2**, 41 (2005).
- [13] S. Boschi-Muller, and Y. Motorin, *Biochemistry (Moscow)*, **78**, 1392 (2013).
- [14] N. Shigi, *Front. Microbiol.*, **9**, 2679 (2018).
- [15] E.G. Mueller, P.M. Palenchar, and C.J. Buck, *J. Biol. Chem.*, **276**, 33588 (2001).
- [16] T. Numata, Y. Ikeuchi, S. Fukai, T. Suzuki, and O. Nureki, *Nature*, **442**, 419 (2006).
- [17] M. Chen, S. Asai, S. Narai, S. Nambu, N. Omura, Y. Sakaguchi, T. Suzuki, M. Ikeda-Sato, K. Watanabe, M. Yao, N. Shigi, and Y. Tanaka, *PNAS*, **114**, 4954 (2017).
- [18] S. Arragain, O. Bimai, P. Legrand, S. Caillat, J. Ravanat, N. Touati, L. Binet, M. Atta, M. Fontecave, and B. Golinelli-Pimpaneau, *PNAS*, **114**, 7355 (2017).
- [19] Y. Liu, D.J. Vinyard, M.E. Reesbeck, T. Suzuki, K. Manakongtreecheep, P.L. Holland, G.W. Brudvig, and D. Söll, *PNAS*, **113**, 12703 (2016).
- [20] Y. Nakai, M. Nakai, R. Lill, T. Suzuki, and H. Hayashi, *Mol. Cell. Biol.*, **27**, 2841 (2007).
- [21] G.R. Björk, B. Huang, O.P. Persson and A.S. Byström, *RNA*, **13**, 1245 (2007).
- [22] C.D. Schlieker, A.G. Van der Veen, J.R. Damon, E. Spooner, and H.L. Ploegh, *PNAS*, **105**, 18255 (2008).
- [23] S. Leidel, P.G.A. Pedrioli, T. Bucher, R. Brost, M. Costanzo, A. Schmidt, R. Aebersold, C. Boone, K. Hofmann, and M. Peter, *Nature*, **458**, 228 (2009).
- [24] Y. Nicolet, R. Rohac, L. Martin, and J.C. Fontecilla-Camps, *PNAS*, **110**, 7188 (2013).
- [25] N. Shigi, Y. Sakaguchi, T. Suzuki, and K. Watanabe, *J. Biol. Chem.*, **281**, 14296 (2006).
- [26] S. Yokoyama, K. Watanabe, and T. Miyazawa, *Adv. Biophys.*, **23**, 115 (1987).
- [27] K. Watanabe, S. Yokoyama, F. Hansske, H. Kasai, and T. Miyazawa, *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, **91**, 671 (1979).
- [28] J.A. Kowalak, J.J. Dalluge, J.A. McCloskey, and K. Stetter, *Biochemistry*, **33**, 7869 (1994).
- [29] N. Shigi, Y. Sakaguchi, S. Asai, T. Suzuki, and K. Watanabe, *EMBO J.*, **27**, 3267 (2008).
- [30] A. Noma, Y. Sakaguchi, and T. Suzuki, *Nucleic Acids Res.*, **37**, 1335 (2009).
- [31] G.L. Igloi, *Biochemistry*, **27**, 3842 (1988).

- [32] Y. Liu, X. Zhu, A. Nakamura, R. Orlando, D. Söll, and W.B. Whitman, *J. Biol. Chem.*, **287**, 36683 (2012).
- [33] H.V. Miranda, N. Nembhard, D. Su, N. Hepowit, D.J. Krause, J.R. Pritz, C. Phillips, D. Söll, and J.A. Maupin-Furlow, *PNAS*, **108**, 4417 (2011).
- [34] Y. Shomura, K. Yoon, H. Nishihara, and Y. Higuchi, *Nature*, **479**, 253 (2011).
- [35] J.W. Peters, M.H.B. Stowell, S.M. Soltis, M.G. Finnegan, M.K. Johnson, and D.C. Rees, *Biochemistry*, **36**, 1181 (1997).
- [36] J.M. Berrisford, and L.A. Sazanow, *J. Biol. Chem.*, **284**, 29773 (2009).
- [37] S.J. Lloyd, H. Lauble, G.S. Prasad, and C.D. Stout, *Protein Sci.*, **8**, 2655 (1999).

(原稿受付日：2019年9月21日)

著者紹介

石坂優人 Masato ISHIZAKA



北海道大学大学院 生命科学院
博士前期課程 2年
〒060-0810 札幌市北区北10-西8
TEL: 011-706-4479, FAX: 011-706-4481
e-mail: ishizaka@castor.sci.hokudai.ac.jp
略歴：2018年 北海道大学大学院入学

最近の研究：反応経路自動探索プログラム GRRM による量子化学計算を取り入れた量子構造生物学への展開。

趣味：ランニング, ボードゲーム, アニメ観賞

田中良和 Yoshikazu TANAKA



東北大学大学院 生命科学研究科 教授
〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1
TEL: 022-217-6205, FAX: 022-217-6205
e-mail: yoshikazu.tanaka.e8@tohoku.ac.jp

略歴：2017年 東北大学教授。博士(工学)。
最近の研究：巨大タンパク質の内部空間

を利用した構造解析手法の開発。

趣味：ゴルフ

姚閔 Min YAO



北海道大学大学院 先端生命科学研究院
教授

〒060-0810 札幌市北区北10-西8
TEL: 011-706-4479, FAX: 011-706-4481

e-mail: yao@castor.sci.hokudai.ac.jp

略歴：2012年 北海道大学教授。博士(理

学)。

最近の研究：熱応答ゲル化ポリマーを利用した、中性子線構造解析のための大型結晶作成法の開発。

趣味：旅行

ナノ磁気渦形成の定説を覆す物質の開発に成功 –磁気フラストレーションを利用して創発電磁気応答を巨大化–

2019年8月5日

理化学研究所
物質・材料研究機構
高エネルギー加速器研究機構
東京大学

■概要

理化学研究所（理研）創発物性科学研究センター強相関物性研究グループの車地崇客員研究員（マサチューセッツ工科大学ポストドクトラルフェロー）、十倉好紀グループディレクター（東京大学大学院工学系研究科教授）、物質・材料研究機構の山崎裕一主任研究員、高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所の佐賀山基准教授らの共同研究グループは、これまでの定説を覆す微小な磁気渦（磁気スキルミオン、以下スキルミオン）を形成する新たな磁性材料の開発に成功しました。本研究成果は、次世代の情報記憶媒体への応用も期待されるスキルミオン材料の設計指針を大きく刷新し、高集積化・高検出感度化を可能にするスピントロニクスデバイスへの応用につながると期待できます。

従来のスキルミオン物質は、「空間反転対称性が破れている」という状態が実現している磁性体であることが不可欠でした。

今回、共同研究グループは、「磁気フラストレーション」に着目した探索を行い、 Gd_2PdSi_3 （Gd：ガドリウム，Pd：パラジウム，Si：ケイ素）の結晶構造には空間反転対称性がある一方で、磁性原子のGdは三角格子状に並んだ状態にあることに着目しました。そして、詳細な電気伝導特性の測定およびスピン構造の解析の結果、この物質中では、数ナノメートル（nm，1 nmは10億分の1メートル）サイズの磁気渦が存在しており、創発電磁気応答の一つである「トポロジカルホール効果」が従来のスキルミオン物質より1桁以上も大きく発現することを明らかにしました。

本研究は、米国の科学雑誌『Science』のオンライン版に掲載されます。この記事の続きは<https://www.kek.jp/ja/newsroom/attic/PR20190805.pdf>をご覧ください。

超高速の分子振動の高精度観測に成功 – 原子レベルの時空間分解能で分子動画を作成 –

2019年8月9日

高輝度光科学研究センター
理化学研究所
高エネルギー加速器研究機構

■概要

高輝度光科学研究センター XFEL 利用研究推進室の片山哲夫研究員、理化学研究所ビームライン研究開発グループの矢橋牧名グループディレクター、大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所の足立伸一教授、ヨーロッパ XFEL（ドイツ）のクリスチャン・プレスラーグループリーダー、ポール・シェラー研究所（スイス）のクリストファー・ミルネグループリーダー、ハンガリー科学アカデミー（ハンガリー）のジョージ・バンコ教授、ニューキャッスル大学（イングランド）のトーマス・ペンフォールド教授らによる共同研究グループは、X線自由電子レーザー（XFEL）施設 SACLA を使い、光を吸収した金属錯体分子の核波束振動を原子レベルの高い時間・空間分解能で追跡することに成功しました。

本研究成果は、「光反応中に分子がどのように動くのか」を観測して理解するための「分子動画」を実現したものであり、光反応の機構の解明に貢献することが期待されます。光増感剤として期待される銅(I)フェナントロリン錯体は光を吸収すると正四面体型から平面型へ構造が変化することが知られています。共同研究グループは、核波束振動がどのようにこの構造変化に関連しているのかをXFELによる時間分解X線吸収分光法を使って調べました。100兆分の1秒の時間幅と100億分の1メートルオーダーの波長を併せ持つXFELは、光反応中の銅(I)フェナントロリン錯体の構造を時間的にも空間的にもピンぼけすることなく鮮明に捉え、分子動画を作成することができます。その結果、光反応の進行中に3つのタイプの核波束振動があることを発見しました。1つは銅原子と窒素原子の結合長が足並みを揃えて伸縮する振動であり、残りの2つは、銅原子と窒素原子の結合の角度が変化する変角振動でした。これらの核波束振動の寿命の違いから、銅(I)フェナントロリン錯体の平面型への構造変化に強く関連しているのは2つの変角振動であることが分かりました。

今回の研究成果は、国際科学雑誌、「Nature Communications」のオンライン版に掲載されます。この記事の続きは<https://www.kek.jp/ja/newsroom/attic/PR20190809.pdf>をご覧ください。

室温で磁場により電気が100倍流れ易くなる物質を発見

2019年9月18日

横浜市立大学

東京大学

高エネルギー加速器研究機構

■概要

横浜市立大学 大学院生命ナノシステム科学研究科 物質システム科学専攻の山田重樹准教授、東京大学 大学院新領域創成科学研究科 物質系専攻の有馬孝尚教授、阿部伸行助教、高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所の佐賀山基准教授らの研究グループは、室温でかつ比較的弱い磁場で巨大磁気抵抗が発現する物質を発見しました。

■研究成果のポイント

- 「室温で」磁場により電気の流れ易さが100倍以上変化する物質を発見した。
- この物質でみられた巨大磁気抵抗は、温度・磁場の条件、電気抵抗の変化の鋭さのすべてにおいて、従来の物質よりも実用性に優れているといえる。

■掲載論文

Room-temperature low-field colossal magnetoresistance in double-perovskite manganite, S. Yamada, N. Abe, H. Sagayama, K. Ogawa, T. Yamagami, and T. Arima, Physical Review Letters, DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.123.126602>

(この記事の続きは <https://www.kek.jp/ja/newsroom/attic/PR20190918.pdf> をご覧下さい。)

「ストライプ照射」だと放射線の影響は軽減される ～放射線の当たり方が一様でない場合、従来の単純な予測は当てはまらない～

2019年9月30日

量子科学技術研究開発機構

Queen's University Belfast

横浜市立大学

高エネルギー加速器研究機構

■発表のポイント

- ・ マウス精巣に対してX線を微細なストライプ状に照射すると、均一に照射した場合では起こらない組織機能の回復が生じ、放射線影響が軽減されることを発見した。
- ・ そのメカニズムとして、X線が直接当たらなかった精子形成細胞が移動することによって、組織全体として

の機能がカバーされることをイメージング実験によって示した。

- ・ 本研究により、空間的に不均一に放射線が当たる場合には、「生体器官のダメージは線量に応じて増加する」という従来のモデルが当てはまらないことを実験的に証明した。

■概要

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構(理事長平野俊夫。以下「量研」という)量子生命科学領域の神長輝一博士研究員、横谷明德量子細胞システム研究グループリーダー及び英国 Queen's University Belfast の福永久典博士課程大学院生(現:医療法人 沖縄徳洲会湘南鎌倉総合病院放射線科)、Kevin M. Prise 教授らは、公立大学法人横浜市立大学の小川毅彦教授、大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所の宇佐美徳子講師らとともに、放射光X線マイクロビーム技術とマウス精巣器官培養法を組み合わせ、空間的に不均一に放射線を当てた場合には組織機能の回復が生じ、放射線量から単純に予測されるよりも影響が軽減されること、さらにそのメカニズムとして放射線の直接当たらなかった細胞の移動が起きていることを実験的に証明しました。

従来、生体器官への放射線の影響は、放射線の量(線量)に応じてその度合いが大きくなるというモデルで説明されてきました。そこには「器官全体が一様に影響を受ける」という暗黙の前提がありますが、医療放射線も含め私たちが日常浴びる放射線は、地面に落ちた雨粒の跡と同様に、身体の中に当たる細胞と当たらない細胞が混在しているのが普通で、それほど単純ではないはずです。そこで本研究では、高度な量子ビーム制御技術により微細なストライプ状にしたX線を、細胞の生死や成熟の様子が蛍光観察できるようにしたマウス精巣に照射し、顕微鏡下でその影響を解析しました。その結果、X線が当たっていない微細な領域の細胞が移動し、組織全体の能力をカバーする現象が起きていることを発見しました。

この結果は、従来の「用量(線量)―反応モデル」の限界を示すもので、今後、より精緻な放射線影響の予測法の確立に貢献し、将来的には放射線治療における副作用の低減などにもつながることが期待されます。

この研究成果は、生物学・医療分野でインパクトの大きい論文が数多く発表されている英国の総合科学誌「Scientific Reports」2019年10月1日号に掲載されます。

この成果は、文部科学省科学研究費補助金基盤研究(B)(No.16KT0079)、一般財団法人丸文財団 交流研究助成事業、公益財団法人放射線影響協会 研究奨励助成金、Department of Health UK (Ref 091/0205) を受けて行われたものです。

この記事の続きは <https://www.kek.jp/ja/newsroom/attic/PR20190930.pdf> をご覧下さい。

遺伝情報の読み取りを強化する tRNA のメチル化の仕組みを構造解析と生化学解析により解明 ～真核生物 Trm7-Trm734 複合 tRNA メチル化酵素の基質 tRNA 選択性とサブユニットの役割～

2019年10月31日

愛媛大学

高エネルギー加速器研究機構

■概要

愛媛大学と高エネルギー加速器研究機構の研究グループは共同で、真核生物 tRNA のアンチコドン一文字目のリボースをメチル化する Trm7-Trm734 複合体の構造解析を行ない、その構造をもとに、この複合体が特定の tRNA のみをメチル化する仕組みや各サブユニットの役割を、分子・原子レベルで解明することに成功しました。本研究の成果は、2019年10月5日に英国の Oxford University Press が発行する科学誌 Nucleic Acids Research 電子版に先行掲載されました。

■詳細

DNA 上にコードされた遺伝情報は、メッセンジャー RNA (mRNA) に写し取られ、タンパク質合成の際に、トランスファー RNA (tRNA) によって読み取られます。tRNA の遺伝暗号解読部位 (アンチコドン) 一文字目 (34位) のリボースのメチル化は、すべての生物に共通にみられる現象で、tRNA と mRNA の結合を強化し、タンパク質合成の途中でエラーが起こる頻度を低下させます。ヒトをはじめ真核生物では、Trm7-Trm734 タンパク質複合体がこのメチル化を担いますが、どうして、この複合体が特定の tRNA のみをメチル化するのか、Trm734 は tRNA の 34 位のリボースをメチル化する上でどのような役割を担っているのかなどが不明でした。

これらの問題を解決すべく、愛媛大学大学院理工学研究科 堀弘幸教授、平田章講師、大学院生の岡田圭祐さん、吉井一晃さん、学部生の白石裕之さんの研究グループは Trm7-Trm734 の X 線結晶構造解析を行ない、高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 清水伸隆教授、西条慎也特任助教 (研究当時)、米澤健人研究員と共同で X 線小角散乱の測定を行いました。これらの構造情報をもとに生化学解析を行ない、(1) Trm7-Trm734 は Cm32, m1G37, ピリミジン 34 の 3 つの因子のうち最低 2 つの因子を持つ tRNA を優先的にメチル化すること、(2) Trm734 は 3 つの WD40 β プロパドメインからなり、ロスマンフォールド型 触媒ドメインを持つ Trm7 と前例がない結合様式で複合体を形成すること、(3) メチル化には、tRNA の D-arm 構造が必要なこと、(4) X 線小角散乱の測定結果から、Trm7-Trm734 は水溶液中でもヘテロ二量体を形成していること、(5) Trm734 は tRNA を捉まえ、触媒サブユニット Trm7 と tRNA を接触させる役割があることなどを解明しました。

これら一連の研究成果により、長年、生化学・分子生物学分野で課題であった Trm7-Trm734 の基質 tRNA 特異性が分子・原子レベルで説明可能になり、Trm734 の役割も明らかとなりました。

ヒトでは、tRNA のアンチコドン一文字目のリボースのメチル化の欠損は X 染色体リンク精神発達遅滞という遺伝形質を引き起こします。したがって、本研究で得られた研究成果は、ヒト遺伝形質の発現の理解、新たな遺伝子診断法や遺伝子治療法の開発にも新知見を与えるものです (この記事の続きは <https://www.kek.jp/ja/newsroom/attic/PR20191031.pdf> をご覧下さい)。

PF 研究会「BioSAS が拓く生体高分子の分子間相互作用解析の最前線」開催報告

KEK 物構研 清水伸隆
京都大学 井上倫太郎, 杉山正明
奈良先端科学技術大学院大学 上久保裕生

近年のタンパク質科学研究においてはより複雑な生体システムが対象となり、離合集散を伴う準安定な相互作用システムの構造解析を実現すべく、様々な測定技術においてパラダイムシフトが起きています。その中でも溶液状態の生体高分子試料を測定対象とする小角散乱法 (Biological Small-Angle Scattering=BioSAS) は、古典的な手法でありながら時代の変化に追従し、BioSAXS (Biological Small-Angle X-ray Scattering) や BioSANS (Biological Small-Angle Neutron Scattering) と呼ばれ、タンパク質構造解析の一般的な手法として認知されています。その理由に、様々な構造解析手法を組み合わせる広い時空間スケールで相互作用システムを理解しようとする相関構造解析 (Hybrid approach) の中で、BioSAS は溶液と結晶/凍結状態、物理化学量と構造を結びつける唯一の手法と考えられていることが挙げられます。相関構造解析が推進される近年の潮流と共に放射光や中性子施設の SAS ビームラインでは、ビームライン自体や試料周辺装置の高度化が求められています。Photon Factory では、国立研究開発法人日本医療研究開発機構 (AMED) の創薬等ライフサイエンス研究支援基盤事業におけるプラットフォーム事業 (PDIS/BINDS) 等の基でビームラインと測定環境の整備・高度化を進め、現在では BioSAXS の国内における一大拠点を形成しつつあります。ハードウェアの高度化は測定法にも大きな進展をもたらし、ゲル濾過クロマトグラフィーと組み合わせた SEC-SAXS/SANS 法 (Size-Exclusion Chromatography SAXS/SANS) が開発され、これまで不可能だった多分散状態の試料を単離しながら計測することが可能になっています。一方で、SEC-SAXS/SANS に関しては測定後のデータ解釈が単純では無く、その道のエキスパートですら解析上の困難に直面することから、ソフトウェアによる解析の充実を図る必要があります。さらに世界に目を向けると、新規の反復構造因子回復アルゴリズムによって SAXS のデータから Ab initio 法で電子密度を導出するプログラム DENSS なども公開され、BioSAS の解析技術は新たな局面を迎えています。

このような状況から、BioSAXS/BioSANS を利用する生命科学研究者が集い、最新の測定と解析に対する新たな視点での相互理解・更なる融合発展を果たすために、2019 年 9 月 11 日 (水)、12 日 (木) の 2 日間にわたって、PF 研究会「BioSAS が拓く生体高分子の分子間相互作用解析

の最前線」を KEK4 号館セミナーホールにおいて開催しました。国内では九州から北海道まで、さらには韓国からの参加者もあり、合計 63 名の参加者と共に活発な議論が行なわれました。本会は 3 部で構成され、初日の第 1 部では「測定・解析手法 /New Methods in BioSAS」と題した SEC-SAXS 法やマイクロ流路セルを用いた滴定 SAXS 法などの最新の測定解析法に関するセッションが、初日の第 2 部では「BioSAS 関連の相関解析 /Hybrid approach using BioSAS」と題し、BioSAS を活用した相関構造解析研究に関する講演が行なわれました。2 日目の第 3 部は「Special & Keynote Lecture」と題し、ソフトウェア DENSS に関する特別講演と国内の BioSAS エキスパートの研究者による基調講演が行なわれました。第 1 部と第 2 部は日本語で行なわれ、講演 30 分、質疑応答 10 分と比較的長めの時間配分で細かい内容まで分かりやすく講演頂くと共に、BioSAS 初心者からもたくさんの質問が受けられるようにしました。第 3 部は英語で講演が行なわれ、特別講演は 60 分、基調講演は 45 分の講演時間に対して 10 分の質問時間を設けることで、詳細な内容を余すところなくお話し頂くと共に、質問も幅広く受けることができるように配慮しました。

初日は KEK 物構研の千田俊哉教授 (構造生物学研究センター長) による開式の挨拶で始まり、相関構造解析研究の推進と BioSAS の有用性に関して提言がありました。第 1 部の最初の講演は、米国カリフォルニア州にある SLAC 国立加速器研究所の放射光施設である Stanford Synchrotron Radiation Lightsource (SSRL) の松井勉博士 (スタンフォード大, Staff Scientist) から、SSRL の BioSAXS ビームライン BL4-2 における SEC-SAXS 実験の現状に関する発表がありました。BL4-2 の SEC-SAXS システムの紹介だけでなく、そもそもの汎用の BioSAXS はもちろん SEC-SAXS を実行する上での測定・解析上の注意点に至るまで詳細な説明が行なわれました。続いて KEK 物構研の清水伸隆教授から、PF における BioSAXS ビームラインと SEC-SAXS 実験の現状に関して発表がありました。PF で



図 1 会場の様子

は実験システムのハードウェア整備だけではなく、SEC-SAXSの全自動解析を行なうソフトウェア Serial Analyzerを開発・公開しており、その詳細に関して紹介されました。京都大学複合原子力科学研究所の井上倫太郎准教授からは、ラボソースのBioSAXS装置に向けて開発整備されたSEC-SAXSシステムの現状に関して発表が行なわれました。さらに、溶液中の分子量分布を解析可能な分析超遠心法 (Analytical Ultracentrifugation=AUC) と組み合わせたAUC-SAXSに関しても、その有用性に関して実際の解析例も合せて紹介されました。第1部最後はKEK物構研の米澤健人研究員から、奈良先端科学技術大学院大学とKEK物構研が共同でPFに整備中であるマイクロ流路セルを利用した滴定SAXSシステムの発表が行なわれました。滴定SAXSシステムはゲル濾過法では単離できない、すなわちSEC-SAXSで解析困難な不安定状態の解析に威力を発揮する新しい測定技術で、発表ではシステムの基本構成やテスト測定例などが示されると共に、共同研究ベースではあるが、整備が完了して2019年4月から共同利用が開始されたと報告されました。

第2部では、最初に北海道大学大学院理学研究院の斉尾智英助教から、マルチドメインタンパク質MurDの溶液中における構造ダイナミクスを理解するために、MurDに複数のランタノイドイオンを結合させてNMRやSAXSの解析に活用した結果が発表されました。それぞれの手法で解析されたランタノイドイオン間の距離や構造分布がリガンド結合に伴い変化することが示され、タンパク質の構造変化解析に対する有用性が実証されました。次に東京大学定量生命科学研究所の深井周也准教授からは、遺伝性てんかんの一つである常染色体優性外側側頭葉てんかんの原因遺伝子産物として知られる神経細胞の分泌タンパク質LG11とその受容体である膜結合型金属プロテアーゼADAM22について、LG11-ADAM22複合体の構造解析結果が発表されました。この研究では、多角度静的光散乱、BioSAXS、クライオ電子顕微鏡、X線結晶構造解析を組合せた相関構造解析により多面的な議論が行なわれ、複合体形成メカニズムに基づく機能発現機構が提唱されました。第2部最後には横浜市立大学生命医科学研究科の池口満徳教授から、MDシミュレーションの歴史、ならびに先日運用を終えたスーパーコンピュータ「京」、後継として開発中の次世代スーパーコンピュータ「富岳」に関する紹介に加えて、MDと実験の連携の重要性と共にその実証例としてビタミンD受容体リガンド結合ドメインのリガンド結合メカニズムの解明に向けたMD-SAXS相関構造解析について発表されました。さらに、現在開発中のマルコフ状態遷移モデル (MSM) をベースとしたMSM-SAXSや、粗視化MD (Coarse-Grained MD) によるCGMD-SAXSに関する解析例なども紹介されました。第2部終了後、研究本館ラウンジにて40名近い参加者にて懇親会が開催され、おいしい料理とお酒等を味わいつつ、初日の講演内容を肴に歓談は大いに盛り上がりました。

2日目の第3部では、最初に特別講演としてニューヨー



図2 集合写真

ク州立大学バッフアロー校のThomas Grant博士 (Research Assistant Professor) から、ソフトウェアDENSの開発や詳細に関して講演が行なわれました。小角散乱の基礎理論の説明に始まりDENS開発の経緯、最新の反復位相回復アルゴリズムの考え方、DENSの解析アルゴリズムの流れや実際の適用例など非常に多面的に、かつ詳細に紹介されました。質疑応答では、アルゴリズムの基礎的な考え方に対してだけではなく、今後の応用や発展の可能性についても質問が行なわれました。続いての基調講演では、自然科学研究機構分子科学研究所の秋山修志教授から、シアノバクテリアの概日時計システムのメカニズム解明に向けた生化学、構造生物学、進化生物学といった様々な観点からの膨大な研究とその成果に関して説明が行なわれました。生体システムの理解に向けた広い時空間スケールに渡る分子間相互作用、離合集散のダイナミクス解析の重要性が改めて提唱されました。本研究会の最後には京都大学複合原子力科学研究所の杉山正明教授から、技術革新が進むクライオ電子顕微鏡を始めとして、結晶解析、NMR、ネイティブ質量分析、分子動力学計算といった手法に加えて、SAXSやSANSも合わせたハイブリッドアプローチ・相関構造解析の重要性に関して改めて提言がありました。さらに、SANSに関する手法の特徴の詳細とSAXS/SANSを活用した α クリスタリン複合体の構造ダイナミクス研究についても紹介されました。本研究会の翌日9月13日(金)には、サテライト研究会「Marriage of Computational and Experimental Techniques for Solution Small-angle Scattering」が京都大学複合原子力科学研究所で開催され、情報科学とBioSAXS解析との融合を目指した議論が活発に行なわれました。

以上をもってプログラムは全て終了しましたが、BioSAXS初心者からの様々な疑問点が寄せられただけではなく、エキスパート同士の解析や研究戦略に関する論戦なども繰り広げられ、質疑応答時間はもちろん、懇親会やコーヒーブレイクの時間帯も含めて会全体を通して非常に活発な議論が行なわれました。本会の目的は「手法の相互理解・更なる融合発展」でありましたので、その役割を十分に果たせたと考えます。また、さらに複雑な相互作用状態(構造)や生体システムの解明に挑むという構造生命科学の共通の目的が本会を通じて改めて確認され、

BioSAS は相関構造解析の中で様々な手法を繋ぐ中心的な役割を担い、今後も益々活用されることが期待されます。

本研究会の開催に当たっては、事務局としてサポート頂いた小角散乱ビームライン秘書の小針美由紀さん、PF 秘書室の高橋良美さん、林陽子さんに深く感謝致します。また、当日の運営・会場設営でサポートをお願いした五十嵐教之教授と小角散乱ビームラインの業務委託スタッフの皆さん、また講演者の写真撮影をお願いした宮本洋佑さん(京都大学大学院理学研究科修士1年)にも、この場を借りて御礼申し上げます。

VUVX19に参加して

放射光実験施設 若林大佑

2019年7月1-5日に米国カリフォルニア州のサンフランシスコにて、The 40th International Conference on Vacuum Ultraviolet and X-ray Physics (VUVX19)が開催された。この会議は、真空紫外(VUV)からX線までの広い波長領域の光をテーマに3年に1回のペースで開催されており、実験手法、光源開発から応用研究に至るまで、様々なトピックで議論が行われている。元々はVUVの学会として開催されていたところにX線の学会が合流し、合併後の開催としては今回で4回目となる。筆者のような放射光施設のスタッフや研究者に限らず、レーザーやプラズマ光源の技術者や検出器の開発者など、欧米を中心に300名を超える参加者がおり、専門を超えて活発な議論が行われていた。

ホストであるAdvanced Light SourceのOhltag博士の挨拶に続き、二つのPlenary Talkで会議は開始した。VUVの学会が母体となっていることもあって会議全体のX線領域の発表は決して多くなかったが、最初のPlenary TalkはいずれもX線領域がテーマとなっていて、より広い波長領域の研究者を呼び込みたいという意図が感じられた。会場となったWestin St. Francis Hotelは、1904年に建てられた歴史的にも価値の高いホテルで、細かな装飾が施されたホ



図1 VUVX19会場の様子



図2 Conference Dinnerにおける特別講演の様子

ールは見た目にも美しかった(図1)。口頭発表は2セッションに分かれて平行に行われ、参加者はそれぞれの興味に合わせて自由に二つの隣接するホールを行き来することができた。筆者は、InstrumentationやMaterials Scienceセッションの手法開発に関する発表を中心に聴いていたが、普段触れることの少ない放射光以外の話題はどれも新鮮で刺激的に感じられた。特に、数10eVの極紫外線に対して屈折レンズとして機能するGas lensの開発に関する発表は興味深く、強く印象に残っている。

筆者は、ポスターセッションにおいて、昨年度より建設を進めてきたBL-19の現状と今後の展望に関する報告を行った。BL-19では、Aランチに設置された走査型透過X線顕微鏡(STXM)のユーザー実験が今年度から開始され、SiのK吸収端(2 keV)までのXAFSイメージングが可能になっている。近くのパスターが他の放射光施設のSTXMに関するものだったこともあり、新規ユーザーの開拓というよりはシステム開発に関する情報交換が主であった。会期中ずっと振る舞われていたStarbucks Coffeeを片手に、終始和やかな雰囲気の中で交流を楽しむことができた。同じ会場では企業展示が行われていて、検出器や光学素子に関する相談や情報収集を行うこともできた。

3日目の夜には会場のホテルの最上階にあるGolden Gate RoomにてConference Dinnerが開かれた。その名の通り、サンフランシスコの象徴である金門橋まで一望できる素晴らしい眺めで、参加者の多くは窓際で熱心にカメラのシャッターを切っていた。料理が一段落した頃、NASAのBristow博士による火星探査についての特別講演が行われた。“The First X-ray Diffraction Experiment on Another Planet”と題された発表では、実際に火星で測定されたX線回折データを示しながら火星探査機Curiosityの最新の動向が紹介された(図2)。筆者は元々地球科学分野の出身だったこともあり、懐かしい興奮とともに発表を聴いていたが、他の参加者からも多くの質問が寄せられて大いに盛り上がっていた。

学会とは別の部分でも、印象に残っていることが幾つかあるので紹介したい。まず、日本が梅雨時だったということもあり、空港を降りたときからカリフォルニアの乾燥した空気が爽快で、会期中は快適に過ごすことができた。また、サンフランシスコに到着した日曜日は、LGBTの大き



図3 到着日に開催されていた San Francisco Pride の様子

なお祭りである San Francisco Pride が開催されていて、極彩色の過激な衣装に包まれた人々が街中を闊歩していて目のやり場に困ってしまった(図3)。一方で、放射光施設のスタッフである筆者は、LGBTの象徴のレインボーフラッグを眺めながら回折格子による分光を連想していた。とある講演で、まさに筆者の連想と同じ話題が出されて会場が沸く場面があり、似たようなことを考えた同業者は少なくなかったようだ。会期中の木曜日は米国の独立記念日に当たっており、夜に花火大会が行われることが会場でもアナウンスされていた。同僚と花火に備えて高台に登ったのだが、7月とは言え夜は気温も下がって濃い霧が出ており、米国の有名登山用品店 Patagonia で購入したアウター(日本の価格よりもはるかに安い!)が大活躍した。ところが、場所が悪かったのか肝心の花火はほとんど見えず、骨折り損になってしまったのが残念であった。

次回は、2022年にブラジルにて開催予定で、放射光施設 Sirius への見学ツアーも行われるとのことだ。複数年に一度開催される学会は、その期間で得られた成果のハイライトを発表する絶好の機会である。3年後には目覚ましい成果を持ってブラジルのビーチを楽しめるように、日々の研究・開発に精進していきたいと思う。

対称性・群論トレーニングコース開催報告

放射光実験施設 五十嵐教之

令和元年の夏に KEK つくばキャンパスで、8回目となる基礎コース、及び初めての英語基礎コースを開催しました。本コースは、結晶学と直結する対称性や群論について、5日間の合宿形式で、座学やトレーニングを通じて学ぶものです。結晶学は物質構造研究に欠かせない重要な学問ですが、対称性・群論の知識を学ぶ機会は圧倒的に不足しているため、2014年の世界結晶年(IYCr2014)の企画として、放射光科学研究施設主催、日本結晶学会共催で開催しました。その企画が非常に好評であったために、その後も継続

的に開催し、今回で基礎コースは8回目となりますが、申し込み開始から1週間ほどで満員となる人気コースとなっています。2016年には基礎編を修了した人だけが参加できる、応用を学ぶアドバンスコースも実施しました。今回は英語コースを初めて開催し、さらに広がりが出てきています。運営についても、第2回からは日本結晶学会と物質構造科学研究所の共同主催に、第3回は大阪大学蛋白質研究所の全面協力を得ての関西圏での開催、第5回からは総合研究大学院大学の公開講座にも指定され、今回からは総合研究大学院大学高エネルギー加速器科学研究所の共通講義となるなど、広く参加できるようになってきており、結晶学、ひいては物質構造研究における啓蒙活動として、確固たる位置付けになったと言っても過言では無いのではないかと思います。

さて、今回は7月22日(月)~26日(金)に、KEK 研究本館会議室1にて英語コースを、7月29日(月)~8月2日(金)に、KEK 4号館2階輪講室にて日本語コースを開催しました。詳細は以下のウェブページを参照ください。

[英語コース]

<http://pfwww.kek.jp/trainingcourse/8th/engcourse/index.html>

[日本語コース]

<http://pfwww.kek.jp/trainingcourse/8th/index.html>

内容はどちらのコースも同様で、結晶学のデータブックである、International Tables for Crystallography, Vol.Aに記載されていることを、非常に基礎的なところから体系的に学んで行き、最後には結晶構造解析の結果考察の例を示しながら、学んだことを生かして一緒に考えるなどの実践的なところまで網羅するものです。講義では、座学だけでなく適宜演習の時間が設定され、その演習では参加者に考えてもらうだけでなく、講師が参加者のところを周り、個別に指導を行います。参加者の理解度を確認しながら講義を進める形式なので、講師の負担は大きいのですが、参加者にとっては非常に教育的なコースになっているかと思います。ここ何年かは猛暑だったため、参加者、関係者の体調



図1 授業中の様子(英語コース)

管理が心配だったのですが、今年は気温も上がらず、比較的快適な環境で実施することができました。ただ、初めての2週連続開催（しかも英語と日本語！）ということで、講師のネスポロ・マッシモ（NESPOLO Massimo）教授（フランス・ロレーヌ大学結晶学教室）への負担は相当大きかったかと思います。実は今回、マッシモ教授はこの直前に上海で同様の講義に参加し、直後にも高野山大学で講義をするという大変なハードスケジュールでした。なので、やる前は本当に大丈夫なのか心配していましたが、持ち前のベジタンパワーと教育への情熱で乗り切り、最後まで非常に熱のこもった講義をしてくださいました。昼の講義だけでなく、夕食後もKEK 宿舎の談話室を借りて夜遅くまで個別相談会を開催し、参加者からの個別の質問や相談にも、全て丁寧に対応してくださいました。見ていて本当に頭の下がる思いでした。

英語の基礎コースについては、初めての開催ということもあり、どの程度集まるか分からなかったので、希望者数が少ない場合には開催中止もあるという中途半端な事前案内となりました。最終的には16名の申し込みがあり、無事開催にこぎつけることができました。参加者は非常にバリエーションに富んでおり、国籍も中国、韓国、台湾、メキシコ、インドネシア、インド、ネパール、フランス、ポーランドと様々な方が参加されました。どんなものかも分からない第1回に申し込んでくるだけあって、皆さん本当にやる気があり、講義が終わった後も列を作って質問をしているような状況でした。宿舎での質問会でも毎晩聞きに来る参加者も居て、人数が少ないながらも非常に熱心な人たちが集まっていたと思います。所属もバラバラだったのですが、参加者同士で分からないところを教えあったり、一緒に食事休憩に行ったり、すぐに仲良くなった様子でした。同じ志を持つ仲間として良い交流になったのではと思います。長いコースなので、実行委員会ではリフレッシュできる飲み物やお菓子などを休憩時間に提供していましたが（日本結晶学会の支援によるものです）、我々実行委員にこれは何だと尋ねてきたり、参加者同士でこれは美味しいとか情報交換したりと、色々興味を持って日本の飲み物やお菓子を楽しそうに体験していたのも印象的でした。コース終了後、参加者にアンケートをお願いするのですが、



図2 授業中の様子（日本語コース）



図3 懇親会の様子（日本語コース）

ほとんどの人が回答してくださり、評判も良かったので、見切りでしたが開催して良かったと思いました。英語コースの今後の開催についても前向きに検討したいと考えています。

日本語コースについては、8回目ということもあり、関係各所に浸透してきているようで、今回も定員を超える46名の参加者を受け付けました。ただ、これまでは様々な履歴を持つ人が参加していたのですが、今回の参加者分布は少し偏っており、比較的若い学生さん、それも研究室から複数名で参加されている人が多かったようです。そのせいかこれまでよりも参加者の反応が淡白に感じました。質問に来る人も限定的で、夜の質問会も参加者が居なくて中止にすることもあったぐらいでした。アンケートの結果も、理解度や満足度があまり高く無く、今後の募集方法や事前チェックをどうするか、いくつか課題を感じました。ところで日本語コースの方は参加者が多いため、日本結晶学会の支援を受けて学会員の補助をお願いしています。今回は東北大学金属材料研究所から、徳田誠先生と川又透先生が1週間滞在してくださり、講義や演習の手伝いや、参加者からの問い合わせ対応、場合によっては質問や相談などにも乗ってくださいました。お二人のご協力のお陰で、円滑に運営することができました。この場をお借りして、厚く御礼申し上げます。

来年の開催については、東京オリンピックがあるため通常よりも1週早めて、7月中旬の開催を予定しています。内容については、英語コースやアドバンストコースも含めて検討中です。開催要項が決まりましたら、以下のトレーニングコースホームページや、各種情報案内、SNSなどでアナウンスいたしますので、ご興味をお持ちの方はぜひチェックをお願いします。

【トレーニングコースホームページ】

<http://pfwww.kek.jp/trainingcourse/index.html>

（最新情報だけでなく、過去の開催や報告なども掲載しておりますので、ぜひご確認ください。）

最後になりましたが、本コースの開催を全面的に支援してくださいました、高エネルギー加速器研究機構の関係の

方々に御礼申し上げます。特に、事務局を一人で切り盛りしてくださいました高橋良美秘書には大変感謝しております。紙面をお借りしまして感謝申し上げます。本当にありがとうございました。

Impression on the 8th Training Course on Symmetry and Group Theory

Graduate School of Science, The University of Tokyo
Special Research Student (D1) Xuejing HE

The 8th Training Course on Symmetry and Group Theory was held by the Crystallographic Society of Japan and the Institute of Material Structure Science, High Energy Accelerator Research Organization (KEK) from July 22nd to 26th.

The lectures were given by Professor Massimo Nespolo from the Université de Lorraine, who is a great expert of crystallography. Courses were arranged properly from the mathematical foundations to crystallographic knowledge. First, basic notions such as group, vector space, mapping, and homomorphism were given for reviewing, and then we moved on to two-dimensional point groups, three-dimensional point groups and space groups, symmetry operations, reciprocal lattice, and X-ray diffraction step by step. Exercise problems were also provided every now and then so that we could digest abstract theories through practicing. Students could also join the FAQ every evening after class to ask the professor questions and redo the exercises. A clear overview of crystallography and useful takeaway tips were got at the end of the training. Although it's hard to understand every detail and make a huge progress during five days, the course actually provided me with helpful ways to analyze problems in research.

Life in the KEK campus was convenient. The lecture room is quite near to the dormitory, and cafeterias and convenient stores are also nearby, which helped a lot in saving time for busy study every day.

I recommend you to seize the opportunity to join next Training Course on Symmetry and Group Theory, and get a promotion in crystallography.



図1 講師から修了証を受け取る筆者（左）

FEL2019 会議報告

加速器第六研究系 加藤龍好, 本田洋介

International Free-Electron Laser Conference (FEL2019) が、ドイツのハンブルクで開催された。39 回目を数えるこの会議は、自由電子レーザー (FEL) に関して、施設報告から、ビームダイナミクス、FEL の理論、応用に至るまで、を扱う国際会議で、FEL の分野に関係する世界中の研究者が一同に会し、最新の情報を交換する場となっている。近年の話題の中心は、やはり大型施設による XFEL であるが、小型の施設による長波長の FEL や、コヒーレント放射に関する研究の発表も行われている。今年はハンブルク大学を会場とし、DESY がホストである。EuXFEL が本格的なユーザー運転に入ったタイミングでもあり、最終日にはその施設見学も行われた。近年、世界各地に XFEL の施設が次々と建設され短波長 FEL の分野は活況を極めているが、一方で国内ではこの分野の研究がそれほど活発では無いので、我々にとっては最新の情報に直接触れられる貴重な機会であった。

今回のハイライトは、やはりこの2年で本格稼働に入った EuXFEL に関する話題だろう。EuXFEL は超伝導加速空洞による SASE 型 X 線 FEL である。元々 DESY を中心にリニアコライダーを目指して開発を行ってきた TESLA 計画の技術を転用し、欧州の共同計画として進められているもので、DESY の敷地から始まる長さ 3.4 km の地下トンネルに建設された巨大な施設である。電子ビームのエネルギーは最大で 17.5 GeV である。ILC の 1/10 スケールとえば一部の人には分かりやすいかもしれない。アンジュレータのビームラインは、硬 X 線を発生する SASE1 と SASE2、及び、軟 X 線を発生する SASE3、の3つが既に稼働している。一つのマクロビームパルスのなかでビームを切り替えて、3つの SASE で同時にユーザー運転を確立していることが報告された。

XFEL の分野はこれまで常伝導加速空洞による施設で開発的研究がなされてきた。2009 年に SLAC の LCLS が世界初の XFEL の発振に成功して以来、日本の理研の SACLA がこれに続き、さらに韓国の PAL-FEL とスイスの Swiss-FEL が建設された。とくに LCLS は、レーザーヒーター、セルフシード、スロットフォイル、など多くのアイデアを次々と提案し、実証してきており、単にユーザー施設としてだけでなく、この分野の発展に中心的役割を果たしてきた。EuXFEL は初めての超伝導加速空洞による XFEL である。超伝導空洞では RF パワーの損失が非常に小さくなるので、エネルギー効率が良く、ビームデュティを上げることが出来る。このため、ビーム強度、つまり取得できるデータの量で従来の常伝導の施設を大きく上回ることになる。建設は大掛かりになるが、ひとたび運転に入ると、パルスあたりの費用という観点からは、超伝導が圧倒的に有利である。一方で常伝導加速空洞は技術的な障壁は低く、建設にかかる費用も抑えられる点は、依然メ

リットがある。超伝導 FEL が本格稼働する時代において、常伝導の施設がどのように特徴を出していくか、は今後の課題である。常伝導空洞を低損失化し、繰り返しを上げることのできる可能性のある、誘電体アシストや銅の低温冷却のアイデアについても紹介された。

EuXFEL はデューティ 1/100 のパルス運転であるが、連続運転 (CW) の XFEL の建設計画が現在進行中である。SLAC の LCLS2 および上海の SHINE、また EuXFEL も CW 化のアップグレード計画がある。2025 年頃には世界の 3 拠点で CW-XFEL が稼働し、MHz の高繰り返し運転が標準になる時代が来る。長波長の FEL の場合は共振器型のスキームが一般的なのをたいして、既存の XFEL は全て単一パスのスキームである。高繰り返し化の実現が近づくなか、XFEL での共振器型のスキームを検討する発表が増加傾向にあった。いわゆる再生増幅型 (RAFEL) や XFELO、あるいは共振器と増幅器を組み合わせてシード化をしようとするもの、などが議論されていた。X 線の利用側では、液体ジェットでサンプルを流しながら測定を行うことになるが、X 線パルスの照射によって液体ジェット中に発生する衝撃波が、次のサンプルに影響しうる、という高繰り返しならでの議論もなされた。

国内では最近、SACLA でセルフシードに成功し、SASE と比較して線幅が改善された X 線が利用できるようになったのが話題である。SACLA から、反射型セルフシードの開発とユーザー運転の報告が行われた。また、PAL-FEL から、透過型セルフシードに成功した報告があった。とくに加速器上流部にレーザーヒーターを導入し、ビーム不安定性の発生を抑えることができたため、X 線のパルスエネルギーが向上し、セルフシードの安定性も、線幅も大きく改善している。レーザーヒーターの技術は、LCLS の初期に開発され、現在では X 線から紫外の短波長 FEL で標準的になっているものである。

EUV から軟 X 線にかけては、外部シード型 FEL 全盛の時代である。イタリアの FERMI では、これまでのカスケード HGHG (High Gain Harmonic Generation) から EEHG (Echo-Enabled Harmonic Generation) にも対応できるように施設を改造し、EEHG によって、HGHG と比較して線幅が改善されたとの報告があった。上海の軟 X 線 FEL の試験施設でも、EEHG およびカスケード HGHG に成功し、もうじきユーザー施設への拡張に入るとのことである。ちなみに、会期中に FEL 賞の発表がなされるのが恒例であるが、今年は EEHG やシード FEL の研究を行って来た 3 名が受賞し、近年のシード型 FEL の著しい発展を伺わせるものである。

開拓的テーマとして、アト (サブフェムト) 秒の X 線パルスの発生の話も増えて来ている。電子ビームの分布の一部からのみ発振させる、という小技的なものから、外部レーザーによって局所的な密度変調を導入する、ESASE と呼ばれる手法が議論された。とくに、ESASE は SLAC で XLEAP と呼ばれる計画が立ち上がっているほか、同様のアイデアに基づいたいくつかの発表が見られた。また、

日本からは QST らのグループで始まった、赤外共振器 FEL を用いた HHG (High harmonic generation) によるアト秒 X 線発生計画の発表があった。

長波長側で多くの発表がみられたのはテラヘルツ (THz) の施設である。既存の高強度光源が無い帯域で、小型の施設でも特徴を出しやすい、ということもあるのだろう。特に、超伝導加速空洞による大電流ビームを用いて大強度 THz 光源をめざす施設がいくつか提案されている。ドイツの ELBE が既存の代表的な施設である。

近年、レーザーとの相互作用などを利用して、ビームに変調をつける技術が確立してきた。これを応用して、放射波長の周期でプリバンチされたビームを予め生成し、アンジュレタなどに入射すると、超放射や誘導放射という現象が起こる。通常の FEL の効率を大きく改善する原理であり、UCLA の TESSA (Tapering enhanced stimulated superradiant amplification) のグループなどが精力的に開発を行っている。チュートリアル講演の一つは、これをテーマとしたものであった。KEK の cERL で我々がやっている THz 回折放射による誘導放射の実験もこの原理と関係したもので、興味を引くテーマである。

KEK からは ERL 型の FEL 光源の話題の発表があった。EUV リソグラフィの産業応用光源を目標に、赤外 FEL の実証試験を行う。エネルギー回収のスキームを利用して大電流運転を実現し、光源としてのエネルギー効率を上げようというものである。ある意味、技術的には CW-FEL よりさらに難しいもので、実機の実現まではまだいくつかの段階が必要であろう。

今回は、日本からの参加者は約 8 名と少なく、とくに若手が全く居なかった。人数は少ないながらも、いくつかのアイデアは注目されていたが、やはり新しい FEL の建設計画が無いのが寂しいところである。たいして目立つのは中国で、上海はシード FEL で既に世界最先端の実績を示し、CW-XFEL を目下建設中である。多くの参加者がおり、とくに若手が目立ったのが印象的であった。

例年、この会議は 8 月の最終週に行われ、暑い日本から脱出できて丁度良いのであるが、今年は異常気象でハンブルクで気温が 32 度を超えたうえに、会場は冷房が無く、しかもポスター発表は灼熱の屋外の仮設テント、という過酷な状況であった。超伝導の話をしながらかの暑さは皮肉なものであった。

第 22 回 XAFS 討論会に参加して

富山大学大学院理工学教育部 ナノ新機能物質科学専攻
博士課程 2 年 太田路子

2019 年 9 月 2 日から 4 日の 3 日間、京都大学吉田キャンパスの国際科学イノベーション棟で開催された第 22 回 XAFS 討論会に参加しました。XAFS 討論会は毎年夏に開催され、XAFS の理論や実験、産業への応用など多岐に渡

る研究発表と討論が行われています。私自身は、2017年8月に姫路で行われた第20回 XAFS 討論会、2018年9月に札幌で行われた第21回 XAFS 討論会にどちらも口頭発表で参加しており、今回は3回目の参加でした。

1日目、学会前はいつもバタバタと時間ギリギリまで準備をしていますが、今回も例に漏れず、前日は遅くまでスライドを直したり、話すことを考えたりしていました。当日は朝9時に富山駅を出発し、指導教員と後輩と3人で京都に向かいました。私の発表順は1日目の夕方ということで、電車の中で考えようと思っていたことがいくつかあったのですが、前日遅くまで起きていたこともあり、気づいたら京都駅に着いていて、京都大学に向かいながら焦っていたのを覚えています。結局、発表の合間の15分休憩に最後の準備をし、緊張する際は10分程しかなく、自分の順番を迎えました。今回は「Full-potential 多重散乱理論による偏光方向平均された分子座標系光電子角度分布の理論研究」というタイトルで発表をさせていただきました。この研究は、量子化学計算と Full-potential 多重散乱計算を組み合わせて光電子角度分布をより精度良く計算し、多重散乱理論の観点から光電子角度分布の構造を議論するという内容です。発表直前には、19枚も用意してしまったスライドを時間内に話し切ることができるか不安に思っていたのですが、いざ発表を始めると、次々にスライドが進んでいき、スムーズに発表を終えることができたように思います。発表が終わり、質疑応答の時間には4つの質問をいただきました。計算に関する質問についてははっきりと答えることができたと思うのですが、ある質問に対しては、数式やその意味をうまく言葉で説明できず、クリアでない答えになってしまったなど、反省する点もありました。

夕食は、指導教員と後輩2人と一緒に、実行委員の高谷光先生に教えていただいた居酒屋さんへ行き、人生で初めて鰻を食べました。昨年富山に住み始め、美味しい魚にはさほど驚かなくなったつもりでいましたが、それでも京都の鰻は衝撃的なおいしさでした。ホテルに戻ったあとは、シャワーのお湯が出ず少し困りましたが、それ以外は問題なく、前日からの疲れと、自分の発表が終わった安心感で、あっという間に眠りに落ちました。

2日目と3日目には、口頭発表、そして2日目の午後にはポスターセッションがありました。自分の発表が終わっ



図1 京都の鰻



図2 横山利彦日本 XAFS 研究会会長（左）と学生奨励受賞学生3名（右から2番目が筆者）。写真は第22回 XAFS 討論会実行委員会よりご提供いただいた。

て安心したこともあり、2日目と3日目の発表は最初から落ち着いて聞くことができました。自分の研究と近い理論研究の発表はもちろんのこと、普段詳細にお話を聞かせていただく機会が少ない実験に関する研究についても興味深く聞かせていただきました。また、最近よく耳にする機械学習を使った研究や、企業での利用例の紹介もあり、一口に XAFS を使った研究といっても研究目的や対象とする系は様々であること、そして XAFS の応用範囲の広さを実感しました。一方で、それぞれの発表を聞きながら理解しきれない部分も多く、自分の勉強不足をひしひしと感じる時間でもありました。ポスターセッションでは、30人以上の方が発表され、どのポスターの前でも熱心に議論が行われており、私も何人かの参加者の方にお話を聞かせていただきました。1対1でじっくりと質問をしたり、意見を交換したりできるというのは、口頭発表にはない、ポスター発表の良さだと思います。私自身は XAFS 討論会でポスター発表を行ったことはないのですが、機会があればポスター発表での参加もしてみたいと思いました。

2日目の夜には懇親会が行われました。この懇親会で学生奨励賞の3名が発表され、大変光栄なことに、私の発表もそのうちの1つに選出させていただきました。今回発表した研究には修士1年の頃から取り組んでいて、毎年少し進んでは、XAFS 討論会で発表してきました。そういった経緯もあり、今回の XAFS 討論会で学生奨励賞に選んでいただけたことに対しては特別な思いがあり、とても嬉しく、そして大変有り難く思います。懇親会では、多くの先生方や他大学の学生の方、研究者の方ともお話しすることができ、楽しい時間を過ごすことができました。

今回の XAFS 討論会参加を通して、XAFS を使った様々な研究を知ることができ、また、自分の研究について客観的に見ることができました。学生奨励賞をいただけたことで、自分の研究に自信を持つことができた一方、やはりまだまだたくさん勉強しなければいけないことがあると感じました。今回の経験を糧に、今後もよりいっそう勉強と研究に励みたいと思います。

DESY 滞在記 ～生活スタート編～

放射光実験施設 石井晴乃

こんにちは。放射光実験施設の基盤技術部門の石井晴乃です。この度 KEK の長期海外派遣制度を利用させていただき 2019 年 5 月 4 日から 2020 年 5 月 9 日までの約 1 年の予定でドイツのハンブルグにあるドイツ電子シンクロトロン (DESY, Deutsches Elektronen-Synchrotron) に滞在しています。DESY は現在 PETRA III や FLASH など複数の加速器を運転しており、それらすべての加速器の制御を Machine Control System (MCS) グループが担当しています。私は今 MCS グループに加わり、加速器等の制御用インターフェイスの開発に携わっています。この度 2 回に分けて DESY 滞在について紹介いたします。今回はこちらでの生活に関して述べていきます。

ご存知の方も多いと思いますが、DESY は北ドイツにあるハンブルグの中心から北東に少し離れた場所に位置しています。DESY エントランス前には DB 社と呼ばれるドイツで最も大きい鉄道会社のバス停があり、ハンブルグ空港からは同社の電車とバスを利用して約 1 時間で到着することができます。私は DESY でお世話になっている MCS グループの Jan さんに迎えに来てもらうことができ、特に問題なく DESY へ着くことができました。ただ、到着日が日曜日だったためスーパーやレストランはほとんど開いておらず初日は日曜日にも営業している店を探し食事をしました。ドイツでは大きなショッピングモールでも祝日や日曜日は営業していないので日本の感覚で買い物や食事ができないことに最初は少し戸惑いました。

DESY の敷地はとて広く実験施設や職員の居室建屋のほかにも様々な施設が充実しています。私が DESY に来てから、住む場所を決めるまでの間滞在していたゲストハウスも敷地内にありますし、食堂やカフェ、銀行、図書室、運動場のほか保育園のようなものもあります。DESY の周辺は住宅街となっていますが、敷地に隣接するように警察署もあり徒歩 10 分以内にはスーパーなどもあります。この一帯は比較的治安もよく静かで住みやすいですが高級住宅街でもあるため家賃は決して安くはないです。私は DESY のハウジングサービスを利用して現在住んでいるアパートを見つけたのですがこの一帯のアパートの貸し出しはそこまで多くなく、貸し出してあっても大家さんに連絡を取ると貸し出しがすでに決定しているケースがあり人気です。私は一軒家の屋根裏部分を借りて住んでいるのですが、かなり広く家具もあらかじめ揃っているため消耗品の購入だけで済みとても助かりました。DESY までは徒歩 30 分ほどですが平坦な道ですし景色を見て歩くのも楽しい道で苦になりません。

こちらでの生活基盤を整えるにあたり一番苦労したのはビザの取得です。私は長期海外派遣が決まったタイミングが遅く日本でのビザの取得が間に合いませんでした。なのでドイツでビザを取得する必要があったのですが、やはり手続きの順がややこしく現地の方が手伝ってくれなければどうなっていたかと思うと恐ろしいです。手続きのサイトなどを確認すると、住民登録をすればビザの手続きに移ることができるように書かれていますが、実際は住民登録のためにアパートの契約をする必要があります。一方、アパートの賃貸料金を支払うための口座を開設する必要があるが、口座の開設には住民登録が必要です。また、手続きのために行く役所も地域によって違いますし、平日の営業時間も日本と違い曜日ごとに異なるため下調べが必要になります。私は手続きの大半を DESY の方に手伝ってもらい行いましたが、やはりこのような手続きは現地の方に聞くのが一番だと改めて痛感しましたし、DESY の方であれば役所での信頼も厚くスムーズに手続きが進む傾向にあるようです。

一方で日本にいたころに心配していた食事に関してですが、思っていたよりも大分よかったです。平日は DESY の食堂で昼食をとるのですが、メニューの幅広が広く肉や魚だけでなく野菜も充実していますし、スーパーに行くと米や醤油などであれば日本の食材が売っています。電車で 30 分ほど行けばアジアマーケットがありそこではより豊富な日本の食材や雑貨が購入できます。手続きや生活基盤が整った後は少し余裕ができ週末などは電車で行ける範

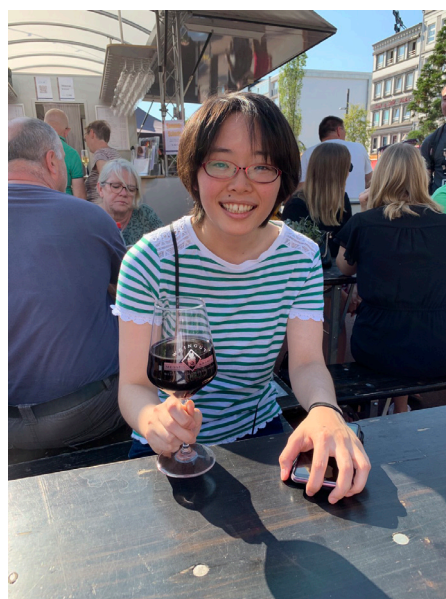


図1 ハンブルグで行われたワインフェス。8～9月は様々な地域でワインフェスやビールフェスなどが行われるそうです。

囲で外出をしたり、市場などに行き交流をしたりしておりドイツの生活に少しずつ馴染んでいます。(図1)

私の今回の長期出張の目的はMCSグループの制御技術と放射光施設のビームラインインターロックやビームライン制御技術のコラボレーションと交流です。残り半年という長いようで短い期間ですが今より積極的に技術を学び、また交流の輪を広げていかななくてはいけないと感じています。次回はDESYでの仕事をメインに紹介していきます。より実りのある報告ができるよう努力いたしますので、この先も見守ってくださればうれしいです。

そしてこの度このような貴重な機会を与えてくださったKEKそしてPFの皆様にご挨拶申し上げます。

SOLEIL 滞在記

加速器第六研究系 山本尚人

はじめに

2018年6月初旬より2019年3月末まで、フランス・パリ近郊に位置する放射光利用施設SOLEIL synchrotron(以下SOLEILと略す)に滞在した。本滞在はKEKの長期海外派遣制度を利用したものであり、SOLEILでは加速器部門加速器物理グループに所属した。

SOLEILは2008年にユーザー利用運転を開始したいわゆる第3世代の放射光源加速器であり、電子エネルギー2.75 GeV、周長354 m、水平エミッタンス約4 nm-radの蓄積リングが放射光発生リングとして利用されている。現在、稼働しているビームラインは合計29本である。SOLEILでは2024年頃から蓄積リングのアップグレードを目指しており、現在は極低エミッタンスを目指すラティス改造の検討が精力的に進められている。本計画はアップグレードであるため、加速器トンネルの再利用は勿論、各ビームラインでの放射光発生位置・放射光エネルギーの維持、ハイブリッドフィルや数バンチフィルなどの運転モードの維持がユーザー側から求められている。SOLEILの加速器物理グループではこのような厳しい制約のもと、偏向電磁石のマルチバンド化をはかり、ラウンドビームでエミッタンス約50 pm-radを達成するラティスを提案している。SOLEIL滞在中の私の研究については加速器学会誌[1]にて概要を寄稿したので興味のある方はそちらを参照して頂きたい。本滞在記では研究からは少し離れてSOLEILでの日々の生活について紹介したい。

SOLEILの1日

私が所属した加速器物理グループはビームダイナミクス・ラティス関連の仕事を主に担当し、ハードウェア関連の業務にはあまり携わらない。既存リングのコミッショニング、運転・オペティクス調整が主な業務であり、約2名を中心として担当していた。他に5名がアップグレードリングのラティス開発、ビームダイナミクス・入射検討に専

念しており、これら業務はスーパーコンピュータを用いたデスクワークが主体となっていた。従って、打合せ等の予定がなく運転シフトに当たっていない場合は思い思いの時間に勤務を行っていた。

フランスでは14歳以下の子供は常に保護者の監視下に置かなければいけない。このため、子供を持つ職員はホームシッターを雇うか子供の学校の都合に合わせた勤務態勢をとるかのどちらかになる。ただし、公立の幼稚園・学校でも通常の始業時間の前の7時ぐらいから夜19時ぐらいまで子供を預けておけるシステムがあり、例えば外国人でも収入に合わせた適正な価格で利用できる。

私も6歳と4歳になる子供2人を連れて赴任したためこの問題に直面した。我々は言葉やお金の問題があったためホームシッターは雇わず、学校に延長保育(学習)を申請しその間にSOLEILに出勤することにした。このため、子供達は一日10時間程度、日本語の全く通じない学校で過ごすこととなった。これについては子供達には辛い思いをさせたと感じている。

私の出勤は、路線バスで子供を小学校に送り届けることから始まる。学校の門が開く時間はわずか10分のみでこの時間に全学年の子供が一斉に集まる。門に入った子供達はクラス毎に集合し、担任の先生に引率され一斉に教室に入る。私も他の保護者らとともにこれを見送った後、最寄りの駅から満員電車と満員バスを乗り継いでSOLEIL施設に向かう。電車では移民の国を象徴するかのように多種多様な人が乗り合わせていた。SOLEIL方面に向かうバスはマッシーというTGVの駅も隣接する駅から朝・夕に集中して出ており、パリサクレ大学の一部であるエコール・ポリテクニク構内を走り抜ける。このため、乗客のほとんどが学生であり、車内はいつも熱気に溢れていた。また、このバスは専用道路を走るため朝夕のパリの渋滞を回避でき非常に便利な交通手段であった。

朝、SOLEILにつくと居室に向かい同室のメンバーとBonjour, ça va?の挨拶後に、研究を開始する。12時30分ぐらいになるとグループメンバー内で声を掛け合い連れだって食堂に行く。グループメンバーのほぼ全員が一斉に揃うのは週一回のミーティングを除いてこの昼食の時間であり、研究で直面している課題からプライベートなことまで幅広く会話を楽しむ時間となっていた。食堂にはSOLEILから補助がでておりスタッフは定価の半額以下(1食5ユーロ程度)で食事をとることができる。メニューは流石食の国フランスという印象で前菜・メインディッシュ、そしてデザートまでバラエティに富んでいた。ワインやビールなどのアルコール類ももちろん手に入る。料理は味も量も申し分なく私は日々この食堂で活力を得ることができた。

この食堂にはビームラインスタッフやユーザー、他の加速器グループメンバー、そしてSOLEILのディレクター達も一斉に訪れる。お昼の時間は広い食堂もほぼ満席となるため、これらの人が席を譲り合ったり肩を寄せ合ったりして食事をとることになり、自然に交流が生まれる。このため、加速器メンバーとビームラインメンバー、施設の運営

に携わる者と若く熱意溢れる研究者などが意見を交わし合う非常に良い交流の場となっていると感じた。身分に関係なく、また欧米特有のファーストネームで呼び合いつつ語り合える環境は各々の研究者がモチベーションを保ち、施設全体での人間関係を良好に保つのに非常に有効であると感じた。

昼食及び食後のコーヒーを一時間以上かけ済ませると Bon après-midi の挨拶の後、居室に戻り研究の続きを始める。SOLEIL は郊外にあるため周囲は緑が多い、窓の外ではまぶしい太陽の下数頭の羊がのんびり草を食む、このような景色を時折眺めつつ食後の緩やかな眠気の中、パソコンに向かう。

夕方、17時を過ぎる頃になると、SOLEIL も人が少なくなる。ただし、研究者には遅くまで残っている人も多いようであった。SOLEIL リングが24時間運転であることもその理由かもしれないが、SOLEIL の研究者は日本人と比べても劣らないぐらい仕事熱心であるように感じた。ただし、休日（いわゆる bank holiday）はしっかり休むようである（私は間違えて bank holiday に一度出勤したが路線バスそのものがほとんど動いておらず、なんとか SOLEIL に到着したのも誰も人はいなかった。施設内に入ることは可能であった。）。また、bank holiday 以外の休暇としてバカンスが春夏秋冬にあり、人によって期間は異なるが夏は2～4週間、それ以外は1週間程を各自確保しているようであった。

SOLEIL の言語事情とミーティング

SOLEIL 施設の公用語はフランス語であり、人によっては英語は全く通じない。話さないのではなく話せない。研究職のスタッフであってもシニアには片言の英語しか話さない人もいる。聞くところによると現在のフランス学校教育でも第二外国語に英語を選ぶ人はほとんどいないらしい。

SOLEIL ではフランス語を母国語としない人向けの言語学習カリキュラムが存在し、対象者は週1度90分間のクラスを受講することができる。クラスはレベル毎に分かれ1クラス最大4人程度で開催される。私の場合は毎週月曜日の午前中にその時間が設けられた。クラスは基本フランス語で進み、専用のテキストを用いて行われるが、英語での質問は受け付けてももらった。ただし、私以外の受講者はヨーロッパ圏の出身で母国語の言語体系や文化的な慣習も似通っているためか理解が早く、私はついて行くのに必死となり週末は予習・復習に時間を要した（滞在時期後半にはサボり気味であったが）。

幸い、私の属したグループでは全員英語を理解できたため、私の参加するグループミーティングでは英語を使用してもらえた。私の滞在期間、グループミーティングは週一回行われた。目的は各自の課題について進捗を述べ、問題点などを議論するためである。私の滞在時はアップグレードラティス検討の重要な時期であったため、検討課題も多く毎回予定時間を越えて密度の濃い議論を行っていた。ま

た、議論が盛り上がりと言語はいつのまにかフランス語に変わっていった。「英語は苦手なのでフランス語を使わせてもらおうね。ごめんなさい。」と断ってくれる人もいたが、私としてもちょっとしたニュアンスの違いも無視できない重要なことを議論するには母国語が一番だと感じた。ちなみに、スイスのポール・シェラー研究所（PSI）では英語が公用語になっているらしい。

私も滞在して数ヶ月経ってきた頃には、加速器関連の専門用語がわかるようになり、フランス語の簡単な文法や表現がわかってきたため、白熱する議論の中で何を話しているかぐらいはわかるようになってきた。SOLEIL としてもアップグレードを検討する重要な時期にわずか10ヶ月程度であるが、その議論の場に立ち会えたことは貴重であったと感じる。

また少し話題はそれだが、打合せ室には“良い会議の方法”という張り紙があり、「時間通りに始まり、時間通りに終わる」「目的を明確に、発表資料はわかりやすく」「無言は賛成とみなす」などと箇条書きで記されていた（フランス語で書かれていたため意識）のが印象に残っている。

最後に

KEK 長期海外派遣制度を利用しフランス、SOLEIL synchrotron に10ヶ月滞在した。渡航前にフランス語を全く勉強したことのなかった私そして私の家族にとって、言語の問題はあったが渡航先に SOLEIL synchrotron を選んだことは正解だったと思う。その理由は、私の研究内容とのマッチングは当然であるが、ヨーロッパ・北米を含めて随一の食の豊かさ、他のヨーロッパ諸国・研究機関への良好なアクセスである。パリ郊外の歴史ある静かな町のほぼ一年中バラの咲くアパートに住み、家族とともに豊かな食材に囲まれて過ごせた10ヶ月はかけがえのない日々であったと思う。今後、KEK-PF、PF-AR もますます難しい時期に入ってくるが、この出張で得られた経験・人脈を活用し研究に邁進していきたいと思う。

最後に本出張の期間に日本からバックアップして下さった坂中教授、高橋氏、私の滞在を暖かく受け入れて下さった SOLEIL の皆さん、そしてフランスでの私の研究を支えてくれた妻と子供達に感謝申し上げます。

[1] 山本尚人, 「Synchrotron SOLEIL 長期滞在報告」加速器 Vol. 16, 119-123 (2019).

BL-3A を利用した $Gd_3Ru_4Al_{12}$ における三量体形成の観測

広島大学大学院先端物質科学研究科
量子物質科学専攻 博士課程前期2年 尾園優作

それを告げられたのは、卒業論文を出し終えて達成感に満ちていた学部4年生の春休みのことだった。「尾園君、共鳴X線回折実験をやってみませんか。」この一言が私の研究生活を大きく変えるものになるとは、その時はまだ知る由もなかった。

その一言をかけたのは、筆者の指導教員である松村武准教授。筆者は、広島大学先端物質科学研究科量子物質科学専攻に所属し、希土類化合物の磁気構造の研究を行っている。特に、変形カゴメ格子を形成する $Gd_3Ru_4Al_{12}$ について研究している。 $Gd_3Ru_4Al_{12}$ は基礎物性の測定結果から、Gd がスピン三量体を形成していることが示唆されていたが、それまでに見つけていた三量体を形成する化合物は絶縁体化合物や、長距離秩序の超交換相互作用がある化合物であり、金属化合物かつ局所的な f 電子化合物、しかも軌道角運動量が 0 の古典的なスピン系の Gd で本当に三量体が形成されているのであれば、非常に珍しい化合物である。Gd の磁気構造を観測すれば、三量体を形成しているのかをミクロの視点から明らかにすることができる。筆者は、学部4年生の頃は Ce 化合物の基礎物性測定をメインに行っていた。今まで見てきた物質の基礎物性の結果と比べても、 $Gd_3Ru_4Al_{12}$ は確かに面白そう。「やってみます」と一言返事し、松村先生の部屋を後にした。

2018年6月、ついに放射光実験のデビュー戦が始まった。PF の大きさに驚愕し、見たこともない実験装置に目を輝かせたのも束の間、いよいよビームタイムが始まった。まず実験装置とビームの調整。手際よく準備する松村先生を横目に、未知の実験装置に戸惑った筆者はただ見ていることしかできなかった。準備開始から約15時間後、準備が終わりどうやらここから実験開始のようだ。時刻は深夜1

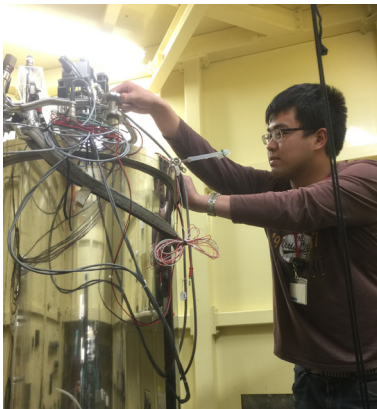


図1 実験準備中の筆者

時。プログラムを操作しビームを照射。軸立てをし、温度を変えながら回折X線を測定していく。「あっ、出てきた」少し興奮した様子の松村先生の一言で、深夜のぼやけていた意識が一気に覚めた。画面を見ると1つのピークが映し出されていた。確かにピークが出ている。このピークはきっと何かを伝えているのだろう。でも、筆者はこの一本のピークが何を表しているかわからず、興奮している様子が正直分からなかった。そうこうしているうちに、ビームタイムは幕を閉じた。結局筆者はあのピークの表している内容が分からず、PF のデビュー戦は完敗だった。もやもやした思いと眠気覚ましに飲みすぎた缶コーヒーのせいで、ちょっとした気分の悪さとともに広島へ帰った。

PF から帰ってきて測定データの解析を進めようとしたが、如何せんデータが多い。どうまとめたらよいか。あのピークには何が隠されているのか。全く分からず、まさに五里霧中だった。「やってみます」と言った過去の自分を恨んだ時期も正直あった。でも、頭の片隅にはあの基礎物性のデータが残っていた。「面白そう」と思った直観だけを支えになんとか続けていったような気がする。

それから5か月後の2018年11月。筆者は再びBL-3Aに来ていた。今度は偏光解析装置を用い、磁気秩序の様子を散乱面内と垂直成分に分離して測定することで、磁気秩序の観測に挑む。準備を終えいよいよ測定。回折X線のデータがパソコンの画面に表示される。前回は見るだけしかできなかったが、今度は意味が分かるようになった。温度を変化させて測定していく。入射X線の偏光を変えて測定していく。同じようなピークが何回も観測されていったが、入射X線の偏光を変えると、ピークが消える温度も変わること気づいた。その時頭の中に浮かんだのは、PF 生活のきっかけとなったあの基礎物性のデータだ。比熱の結果から二段階の磁気転移が起こることが示唆されていたが、その転移温度とピークが消える温度が一致していたのだ。この瞬間、一気に目の前が明るくなった。ここまでやってきたことがつながったのを実感した。実験がひと段落し、休憩に飲んだ缶コーヒーは6月とは違い格別な味だった。

その後、解析を進める中で放射光実験のデータが基礎物性のデータを説明できることが分かり、Gd が三量体を形成していることが明らかになった。幸いにもこの結果は論文にもなった。放射光実験を始めた当初には想像もつかない結果だった。今年度も $Gd_3Ru_4Al_{12}$ の磁気構造の研究を続けている。すでに3月と6月の2度実験しているが、だんだん楽しみが大きくなっている。

こうして振り返ってみると、色々あったが楽しく有意義な研究室生活だった。マクロに物性を見る基礎物性測定と、ミクロに見る放射光測定。両方の実験経験を積み重ねてもらい、ミクロとマクロがつながる瞬間を体験することができた。修士課程もあと少しで修了だが、最後まで研究に邁進していきたい。最後に、執筆の機会をくださった編集委員の方々、指導教員の松村武准教授、PF でいつも気さくに話しかけてくださり実験のサポートをして下さる中尾裕則准教授に感謝申し上げます。

KEK に居候

Tietz Video Image and Processing Systems GmbH 荒牧慎二

私は民間企業に勤めながら KEK に通勤し、KEK では構造生物学研究センターの一角から業務を行っています。私の勤める会社は、ドイツ・ミュンヘン近郊の閑静な住宅街にある、Tietz Video Image and Processing Systems GmbH (TVIPS GmbH) です。TVIPS(ティーヴァイアイピーエス)は、透過型電子顕微鏡用カメラの開発・製造を30余年続けており、社員数は全部で15人です。日本人は私一人だけです。小さいながらも電子顕微鏡用デジタルカメラの分野では非常に長い歴史を持っており、電子顕微鏡用のカメラシステムを研究・開発する小さな研究室のような雰囲気です。

それでは、そんな私がなぜ KEK に来ているのでしょうか？その前に、まずは構造生物学における透過型電子顕微鏡と KEK についてお話ししたほうが良いでしょう。KEK は構造生物学の分野において、放射光ビームラインを用いた研究の最前線を走り続け、また共同利用施設として多くのユーザーの研究に支援してきました。一方、ここ5年でクライオ電子顕微鏡法（液体窒素温度に冷却した含水サンプルを、透過型電子顕微鏡で撮影する手法）を用いた構造生物学分野は目覚ましい発展を遂げました。この理由としては、様々な技術革新があったとともに、最も大きな要因の一つとしてデータ取得の自動化が挙げられます。一昔前の電子顕微鏡といえば、撮影の度に手作業でフォーカス合わせや撮影などを行っており、常に装置の前に電子顕微鏡を操作する人が必要でした。そのため、貴重なマシンタイムを有効活用するために、装置の前に寝袋を置いて実験をするということが日常茶飯事でした。しかし、ソフトウェアとハードウェアの進歩により、24時間自動稼働の運用が可能となり、オペレータが常に常駐しなくともデータの収集が可能となり、高品質なデータを24時間365日収集ができるようになったのです。すると、多くの方がクライオ電子顕微鏡法を用いた研究に興味を持つようになりました。しかし、クライオ専用型の透過型電子顕微鏡は非常に高価な

装置なので、残念ながらだれもが購入できるものではありません。また、初期投資だけでなく保守・運用にも多くの予算が必要となります。そのため、米国をはじめ欧州や中国では、幅広い研究者が装置を使えるように共同利用型施設へ導入され、また合わせて共同利用の仕組みづくりも行われてきました。しかし、日本では、クライオ電子顕微鏡法を用いた研究は盛んだったにもかかわらず、共同利用施設という面では一歩出遅れていました。そのため、KEK では PF で培われた共同利用施設のノウハウをクライオ電子顕微鏡法分野でも生かすべく、平成29年度に最新型のクライオ電子顕微鏡を導入し、現在では産学問わず多くのユーザーが KEK の電子顕微鏡を利用するようになり、日本のクライオ電子顕微鏡法を用いた研究を支える重要な拠点となっています。

やっと、私が KEK に来るきっかけをお話しする前準備が整いました。2年前、KEK にクライオ専用透過型電子顕微鏡が導入された時点では、KEK にはこの装置を取り扱える人は限られていました。KEK にはビームラインのスペシャリストが集まっており、結晶を用いた研究を得意としていたためです。そこで、透過型電子顕微鏡を取り扱える人を探していたのです。ちょうど私が在任地の日本からドイツ本社に長期出張をしていた時、突然深夜の3時に電話が鳴りました。KEK 構造生物研究センターの千田先生からでした。半分寝た状態でお電話をしていたため、正直、正確な内容は覚えてません。電子顕微鏡のサポートをして欲しいというような内容だったと思います。その後、紆余曲折を経て、いざというときのお手伝い役として KEK に来ることになりました。

私は KEK にいることで、多くのことを享受しています。主には、最先端研究を常にキャッチアップできること、そして国際的な研究者に常に触れられることです。企業にいれば、学会や論文を通して常に最先端技術に触れられるように心がけてはいても、やはり専門分野以外の方々と交流する機会は減ってしまいます。KEK では様々なフィールドの研究者が出入りしているほか国際的な研究会も頻繁に開催されているため、幅広い研究者と交流する機会が持てます。また、私は日本にいる唯一の TVIPS 社員ということで、KEK に来るまでは基本的にはホームオフィスで仕事をしていました。そのため、Skype ミーティングや学会で人と接する機会はあるにせよ、自宅で仕事をする際には家で一人寂しく仕事をしていました。KEK に通うようになってから、研究会への参加や周囲の研究者の方々との人的な交流が増えたとともに、最新の研究についてほかの研究者の方々との意見を交わすことができる機会が持てるようになったことが最も大きな点だと感じています。

現在、KEK では電子顕微鏡ネットワークの拡充を図っており、多くの方が相互の施設を利用できるようになってきています。近隣では、筑波大学の生存ダイナミクス研究センター（TARA センター）にもスクリーニング用の透過型電子顕微鏡と TVIPS のカメラシステムが昨年度末に納入され、共同で電子顕微鏡をベースとした実験系の新規開



図1 SBRC が主催した講習会の様子（後列一番右が筆者）

発表を企画しています。今後はカメラメーカーのスペシャリストとして、カメラの能力を最大限に引き出すための、研究サポートを行っていきたく考えています。そして、まだ電子顕微鏡へなじみのないユーザーへ電子顕微鏡の秘めた力を KEK から発信し続け、生物応用に限らず幅広いフィールドでの電子顕微鏡を使った研究の裾野を広げていきたいと思っています。

クライオ電顕ネットワーク・ユーザーグループ発足のご紹介

ユーザーグループ代表 田中良和（東北大学）

近年、クライオ電子顕微鏡を用いた構造解析の技術は著しい発展を遂げており、構造生物学研究に必要な不可欠なコア技術となりました。世界中でクライオ電子顕微鏡を用いた研究が活発的に推し進められる中、わが国でも、AMED「創薬等先端技術支援基盤プラットフォーム（BINDS）のサポートのもと、共同利用型のクライオ電子顕微鏡解析のシステム（クライオ電顕ネットワーク）の運用がスタートしました。クライオ電顕ネットワークは、高エネルギー加速器研究機構（KEK）に事務局を置き、日本国内の既存のクライオ電子顕微鏡コミュニティにご協力をいただき、利用経験のない研究者でも最先端のクライオ電子顕微鏡を利用できる体制を整えつつあります。実際に KEK にも、最新鋭の 200 kV クライオ電子顕微鏡 Talos Arctica（Falcon III 検出器を搭載）が導入され、多くの入門者ユーザーがクライオ電子顕微鏡の実験を学びつつ、利用を開始しています。

日本中で整備されている共同利用型のクライオ電顕が多くの研究者に効率的に利用されるようになることを目指してクライオ電顕ネットワーク・ユーザーグループが立ち上がり、今年3月に第1回ユーザーグループミーティングが開催されました。予想を大きく超える150名以上の方にご参加いただき、施設側、利用者側からの忌憚のない意見交換や、測定に関する情報共有が図られ大盛況でした。そして、第2回のクライオ電顕ネットワーク・ユーザーグループミーティングが12月5日（木）の日本分子生物学会年會内でフォーラムとして開催されます。詳細は p.55 の「第2回クライオ電顕ネットワーク・ユーザーグループミーティング開催案内」をご参照ください。

ユーザー同士の積極的な交流により、日本のクライオ電顕利用者コミュニティ全体の活性化に貢献できればと考えています。ぜひご参加ください。

PF トピックス一覧（8月～10月）

PF のホームページ (<https://www2.kek.jp/imss/pf/>) では、PF に関係する研究成果やイベント、トピックスなどを順次掲載しています。各トピックスの詳細は PF ホームページをご覧ください。

2019年8月～10月に紹介されたPFトピックス一覧

- 8.5 【プレスリリース】ナノ磁気渦形成の定説を覆す物質の開発に成功—磁気フラストレーションを利用して創発電磁気応答を巨大化—
- 8.9 【プレスリリース】超高速の分子振動の高精度観測に成功—原子レベルの時空間分解能で分子動画を作成—
- 8.9 【物構研トピックス】私にスピンをわからせて！～第4回転「銀原子はなぜ曲がる？」～シュレディンガー方程式の巻
- 8.9 【物構研トピックス】茨城県内の日本最古の鋳床で発見された鋳物が、フォトンファクトリーにて新鋳物と判明
- 8.16 【物構研トピックス】フォトンファクトリー新体制発足記念講演会～PF REBORN 2019～を開催
- 9.4 【物構研トピックス】国光あやの衆議院議員がフォトンファクトリーを視察
- 9.13 【物構研トピックス】KEK 一般公開 2019 が開催されました
- 9.17 【物構研トピックス】研究系技術職員インターンシップ 2019 秋を開催
- 9.17 【物構研トピックス】16 個の銀原子を DNA でコーティングしたナノ蛍光物質「DNA- 銀ナノクラスター」の立体構造解析に成功
- 9.18 【プレスリリース】室温で磁場により電気が 100 倍流れ易くなる物質を発見
- 9.18 【物構研トピックス】岡山大学などの研究グループ、酸化グラフェンの光による酸素除去メカニズムを解明
- 9.24 【物構研トピックス】高分解能立体構造解析に基づいた、多剤耐性菌や歯周病菌に特異的な阻害剤の探索に成功
- 9.30 【物構研トピックス】水戸農業高等学校でチョコレイト・サイエンスを開催
- 10.2 【プレスリリース】「ストライブ照射」だと放射線の影響は軽減される～放射線の当たり方が一様でない場合、従来の単純な予測は当てはまらない～
- 10.3 【物構研トピックス】茨城大学の研究グループ、J-PARC MLF の中性子線と KEK PF の X 線を使ってタンパク質解析
- 10.9 【物構研トピックス】酸化ストレスによる統合失調症の発症メカニズムを解明
- 10.10 【物構研トピックス】Canadian Light Source の Lamb 所長がフォトンファクトリーを訪問

- 10.17 【物構研トピックス】キメラ型超分子ポリマーの開発に成功
- 10.31 【プレスリリース】遺伝情報の読み取りを強化する tRNA のメチル化の仕組みを構造解析と生化学解析により解明 - 真核生物 Trm7-Trm734 複合 tRNA メチル化酵素の基質 tRNA 選択性とサブユニットの役割 -

【訃報】元フォトンファクトリー施設長・佐々木泰三先生がご逝去されました

2019年10月1日

フォトンファクトリーの2代目施設長（1984年4月～1985年3月 高エネルギー物理学研究所・放射光実験施設長）および初代測定器研究系研究主幹（1980年4月～1984年3月）であり、KEK 名誉教授の佐々木泰三先生（享年95）におかれましては、9月20日にご逝去されました。ここに謹んでお知らせいたします。佐々木先生のご冥福を心よりお祈り申し上げます。



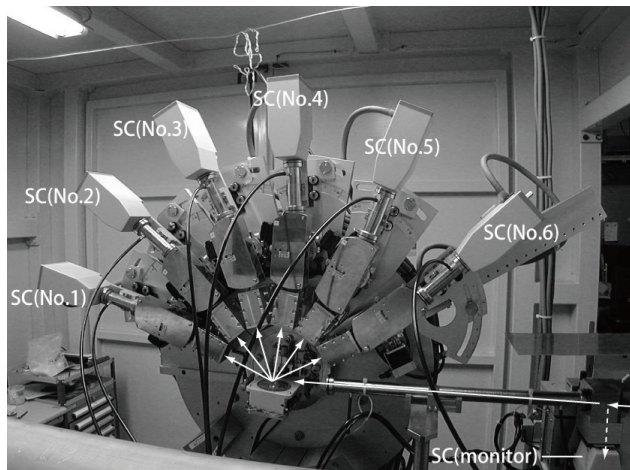
在りし日の佐々木泰三先生。写真は「第29回 PF シンポジウム」の2日目に開催された「30周年記念講演」（2012年3月16日）の中で、「挿入光源事始め」の講演中の様子。

粉末回折ユーザーグループ紹介

東京工業大学 植草秀裕

粉末回折ユーザーグループは、ユーザーグループ運営ステーションである BL-4B2 の利用を中心に活動しており、高分解能粉末回折データ測定や高温炉アタッチメントを用いた環境制御測定による、広い分野での研究が行われている。この実験ステーションには、検出器多連装型軌道放射光粉末回折計 MDS (Multiple Detector System) [1] が設置されており、この回折計は特に高分解能粉末回折データデータをリーズナブルな時間で測定できることが特徴である。MDS は放射光の高輝度・高平行性を活かし、正確で高精度・高分解能な粉末結晶放射光回折データを実用的な時間で測定するために、1994 年に虎谷 (リガク) らが、世界で初めて開発したものである。高分解能を実現するために、単結晶 Ge(111) アナライザー付シンチレーションカウンター検出器系を採用しているが、測定時間を短縮するために、20 軸上に 25° 間隔で 6 系統の検出器系を備え、複数の 20 区間を同時に測定できる特長を持っている。

ユーザーグループでは、回折計の性能評価や光学系の調整、実際的な使用経験を重ね、さらに井田(名古屋工業大学)らがデータ解析のための実用的なソフトウェアを開発・整備した [2, 3]。回折計は θ 軸, 2 θ 軸を持ち、試料の量や特性に応じて、平板回転型試料台を使った反射型測定と、キャピラリー回転試料台を使った透過型測定が可能である。平板回転型試料台はホルダーを面内回転することで選択配向効果を減少させ、さらに回折する粉末粒子数を増やす効果がある。少量の試料を測定できる透過型測定では、キャピラリー試料台を θ 軸に設置し回転させることで、選択配向効果を回避できる。環境制御測定については、大気環境下で 1500°C 以上の温度での測定を可能にする高温炉アタ



BL-4B2 の検出器多連装型粉末回折計

ッチメントがユーザーにより開発されている [4,5]。このような大気環境下での高温制御は機能材料などが実際に使われる状態に近く、セラミック材料や鉱物の測定で大いに利用されており、このステーションの大きな特長となっている。実際にこのステーション利用者の半数以上がこの高温炉を使った測定を行っている。

粉末回折法は多数の単結晶の集まりである粉末試料全体からの回折を測定するため、金属やセラミックスなどの実用的な材料をそのままの状態で調べることに向いており、新規材料の開発や、実用材料の評価に不可欠となっている。BL-4B2 の検出器多連装型粉末回折計を用いれば、実験室型の装置に比べて、高品質な粉末回折強度データが得られ、そこから高精度な結晶構造・電子密度情報が得られるといえる。

粉末回折ユーザーグループのメンバーは、結晶学や物性科学、構造化学などの基礎分野や応用物理、応用化学、無機材料工学、薬学などの広い応用分野から参加している。例えば材料分野のうちエネルギー関連物質としては、電気/化学エネルギーを変換する二次電池や燃料電池の素材開発が盛んに行われており、多様な多結晶性無機材料の構造と物性の関係を明らかにし、構造科学的と材料設計の融合が期待されている。一方、医薬品や有機材料も粉末結晶の状態が使われるため、やはり粉末の状態で構造を評価することが重要である。また医薬品原薬の製造プロセスでは、環境変化により相転移や脱水などが起き結晶構造および物性が変化する。この場合、試料は単結晶状態を保たないため粉末回折データを使った解析を行う必要がある。

BL-4B2 で測定した高分解能かつ正確な粉末回折データを正しく解析すれば、結晶格子の微細な変化や、結晶構造中の原子位置だけでなく、熱振動による原子位置のゆらぎや、化学結合による電子密度の変化まで解析が可能である。このような測定データの特長を生かし、ユーザーグループのメンバーが現在推進中の研究の一部を以下に短く紹介する。

高温にて高分解能粉末回折データが測定できることは、高温状態で使用する材料の性質を理解へとつながる。八島らは、酸化物イオン伝導体の新しい構造ファミリーである Mg_3TeO_6 型構造をもつ $\text{Ca}_{0.8}\text{Y}_{2.4}\text{Sn}_{0.8}\text{O}_6$ を見出し、MDS にて 1273 K で測定した粉末回折データから高温における結晶構造を明らかにした [6]。得られた構造に基づき結合原子価法によるエネルギー計算から 1273 K の $\text{Ca}_{0.8}\text{Y}_{2.4}\text{Sn}_{0.8}\text{O}_6$ において三次元のイオン伝導経路があることを明らかにした。

地球史を探る上で重要な鉱物は、一般に対称性が低く未知の微細な複合組織を含むことも多い。そのため高分解能 PXRD 測定は大変効果的である。三宅らは、高温変成の主要鉱物である珪線石 (Al_2SiO_5) とムライト ($\text{Al}_2[\text{Al}_{2+2x}\text{Si}_{2-2x}]\text{O}_{10-x}$, $x = 0.17-0.59$) の混合物を MDS の高角度分解能を活

かして解析し、両相の分離と相転移温度の決定に成功した [7]。また、両相間の高温での僅かな格子定数変化には二つの系統があることを見出し、それらが組成変化と Al/Si 無秩序化とに起因すること、その温度圧力条件との関係を明らかにした [8]。

高温超伝導体候補物質である $(\text{Pr,Nd})_4\text{Ni}_3\text{O}_8$ においても、高分解能粉末回折データのリートベルト解析から重要な知見が得られている。上原らは超伝導の阻害要因の一つと考えられる Ni 頂点位置の過剰酸素の作成条件による増減を、 NiO_2 面内の Ni 及び酸素の変位から見積ることに成功した。これは高温超伝導が発現する作成条件の最適化を行う上で極めて重要な情報となる [9]。

抗菌剤である医薬品原薬ピペミド酸の白色粉末である 3 水和物結晶は、アルコール等の有機溶媒蒸気により黄色に変化するというベイクロミズムを示した。これは蒸気による単結晶状態を保たない脱水和転移であるが、植草らは BL-4B2 で測定したピーク分離のよい粉末回折データを用い、有機結晶の粉末未知結晶構造解から結晶構造を明らかにした。脱水和に伴う分子内のプロトン移動が結晶の色変化を引き起こすメカニズムを解明した [10]。

リチウムイオン電池やナトリウムイオン電池に使用される電極材料や電解質の特性は主として結晶構造により決定される。西村らはそれらの電池材料の結晶構造解析に、MDS の特徴であるアナライザ結晶による高角度分解能、吸収補正フリーな反射型光学系、試料周辺の空気散乱排除などの利点を組み合わせた高品質データを活用している。微量の試料でも高統計精度のデータが短時間に測定可能な BL-8A/8B も相補的に使用して、新物質探索や電池反応機構解析など電池特性の起源に迫る研究を展開している [11, 12]。

放射光粉末回折実験は特殊な手法と思われがちだが、BL-4B2 での粉末回折実験では、実験室の回折計を使うよりもむしろ試料の準備が簡単で、紛らわしさが少なく豊富な情報を含むデータが容易に得られるのでデータの解析も楽になるという面もある。さらに広い分野の研究者に有効に活用してもらえるように、ユーザーグループの活動を発展させていきたいと考えている。初めてこの装置を使用するユーザーにはユーザーグループのメンバーが測定のサポートを実施しており、測定を計画している方はぜひご相談いただきたい。

本紹介はユーザーグループ運営ステーション BL-4B2 運営ワーキンググループメンバーからの原稿を代表者がとりまとめたものであり各位に感謝する。

連絡先：植草秀裕（代表）uekusa@chem.titech.ac.jp

中尾裕則（所内担当）hironori.nakao@kek.jp

- [1] H. Toraya, H. Hibino and K. Ohsumi, *J. Synchrotron Rad.* **3**, 75 (1996).
- [2] T. Ida, H. Hibino and H. Toraya, *J. Appl. Cryst.* **34**, 144 (2001).

- [3] T. Ida and H. Hibino, *J. Appl. Cryst.* **39**, 90 (2006).
- [4] M. Yashima, M. Tanaka, K. Oh-uchi and T. Ida, *J. Appl. Cryst.* **38**, 854 (2005).
- [5] M. Yashima, K. Oh-uchi, M. Tanaka and T. Ida, *J. Am. Ceram. Soc.* **89**, 1395 (2006).
- [6] R. Inoue, K. Fujii, M. Shiraiwa, E. Niwa and M. Yashima, *Dalton Trans.* **47**, 7515 (2018).
- [7] Y. Igami, S. Ohi and A. Miyake, *J. Am. Ceram. Soc.* **100**, 4928 (2017).
- [8] Y. Igami, S. Ohi, T. Kogiso, N. Furukawa and A. Miyake, *Am. Mineral.* **104**, 1051 (2019).
- [9] M. Uehara *et al.*, *J. Phys. Soc. Jpn.* **86**, 114605 (2017).
- [10] A. Sakon *et al.*, *Cryst. Growth & Des.* **16**, 4635 (2017).
- [11] S. Nishimura *et al.*, *Angew. Chem. Int. Ed.* **54**, 8939 (2015).
- [12] A. Panigrahi *et al.*, *Chem. Mater.* **49**, 4361 (2017).

高圧ユーザーグループ紹介

日本大学文理学部 高橋博樹

KEK 物構研 亀卦川卓美

室蘭工業大学 関根ちひろ

九州大学大学院理学研究院 久保友明

東京大学大学院理学系研究科 鍵裕之

高圧ユーザーグループは、高圧と放射光を実験手段として物質の高圧下における挙動を研究するユーザーによって構成され、固体物理、地球科学、固体化学、材料科学など幅広い分野にまたがっています。圧力は、物質の原子間距離を変え、多くの物性変化を引き起こします。このことから固体や液体の構造・物性・反応等を理解するためのパラメータとして、圧力の重要性は広く認識されています。高圧グループでは、X線測定技術以外にも、高圧発生装置とその制御系ならびに高温や低温などの周辺技術の開発を共同で行ってきた歴史を持ち、グループ内には高い共同体意識が培われてきました。高圧装置にはさまざまな種類がありますが、高圧力を保持するためには、試料の周りに圧力を封入するための容器や壁があり、高圧下で実験するためにはいくつかの障壁を通してX線を導入し、また障壁を通して散乱されたX線を検出する必要があります。このことが、高圧実験が高エネルギーの放射光を必要とする理由の一つです。また、高い圧力を目指すためには加える荷重を増やすよりは試料を小さくする方が有利です。圧力の高い実験になるほど微量試料からのシグナルを得るために高輝度の放射光が必要になります。このような必要性に基づき開発された高圧発生技術と各種測定技術は着実に進歩しており、広範な温度・圧力領域で精密な高圧データが得られています。これらの蓄積された実験技術を継承し、X線回折実験に加え、イメージング、メスパウワー分光、X線発光分光、X線吸収など新しい測定方法の開発も行い共通の技術的・学問的發展を目指しています。

高圧ユーザーグループの研究分野は多岐にわたります。固体物理や固体化学の分野では、高圧下で観測される物理現象の基礎データとして結晶構造データが必要となり、結晶化学的には高圧下の高密度状態での構造に興味もたれています。また、第一原理計算による高圧下の結晶構造との対比も行われています。一方、地球科学の分野では、地球や惑星の内部構造を理解するために高温高圧条件下での実験が欠かせません。マルチアンビルプレスを用いた高温高圧実験が行われています。

高圧ユーザーグループが使用しているビームラインは、AR-NE1A, NE5C, NE7A, PF BL-18Cです。そのうちBL-18Cはユーザー運営ステーションとして、AR-NE7Aの高圧実験装置MAX-IIIはユーザーグループ運営装置として運営委員会ワーキンググループが、PFと協力して、機器の定常的な維持・管理及び、一般ユーザーの実験支援、新規ユーザーの教育を行っています。

各ビームラインの現状は以下の通りです。

AR-NE1A

50 keV, 30 keV, 14.4 keV の 3 種類の単色光が使用でき、PF-ARの単バンチ運転を利用したメスバウアー散乱実験のために、通常の光学系に高分解能分光器を挿入して14.4 keVの光を準超単色化する仕組みが整備されています。実験装置はYAGレーザー加熱光学系を備えたDAC実験ステージと、低温高磁場下での高圧実験ができる低温クライオスタットが整備されています。ビームタイム期間中には、DACによる（レーザー加熱）超高压回折実験の他に、超伝導マグネットを用いた超伝導体の高圧下メスバウアー実験や、表面・界面のメスバウアー実験、S型課題の単結晶高圧構造解析など実験手法・装置の異なる課題が混在しています。そのため、実験装置の入れ換えや光学系調整に掛かる時間を短くするために、ユーザーへの希望調査時に前もって大凡の割り当て期間を伝えるなどの工夫をしています。



DACを用いた（レーザー加熱）超高压回折実験装置



低温強磁場下でのメスバウアー実験装置

AR-NE5C

AR-NE5Cには、大型プレスMAX80が設置されており、白色X線（20 keV ~ 140 keV）を用いたエネルギー分散法と2結晶モノクロメータで単色化したX線を用いた角度分散法による高温高圧下のX線回折実験が可能です。また、X線吸収分光（XAFS）測定も可能です。MAX80は、DIA型のキュービックアンビル型高圧発生装置で、その名前はMulti-Anvil X-ray system designed in 1980に由来しています。最近では、アンビル交換が容易であることから、キュービックアンビル型装置の1段目アンビルの内側に、小型の6つの2段目アンビルとアンビルガイドからなる組立集合体を設置して加圧する方式（6-6式加圧方式）が主流となっています。エネルギー分散法では、圧力や試料状態の同定を短時間に行うことが可能であるため、高温高圧下における試料のその場観察が可能です。AR-NE5Cでは、物質・材料科学および地球惑星科学分野の高温高圧実験が行われています。温度圧力相図や状態方程式の決定、相転移現象や試料合成過程のその場観察実験のための白色X線を用いた粉末X線回折実験が主ですが、X線回折・XAFSによる液体やガラスの局所構造の研究も行われています。

AR-NE7A

NE7Aステーションは2009年夏に建設され、700 tonマルチアンビル型高圧装置（MAX-III）をBL-14Cから移設して実験ハッチ下流側に設置し、その年の秋からユーザー利用を開始しました。実験ハッチ上流側ではX線イメージングに関する研究が行われています。2016年からはMAX-IIIがユーザーグループ運営装置となり、利用者の拡大を図りながら特色ある研究活動を進めてきました。UG運営装置として二期目の活動を今年度から開始しています。その間、ユーザーによる装置の高度化が断続的に進められ、現在ではMAX-IIIに3種類のガイドブロック（DIA型、D-DIA型、D-111型）を組み合わせ、白色および単色X線を利用した高圧その場観察実験が可能となっています。

す。このような多様なマルチアンビル型高压装置が利用できるビームラインは世界でも NE7A だけの特色です。現在 12 件の共同利用実験課題が遂行されており、高压地球科学を中心に、高温高压下での物質科学研究が精力的に行われています。

以前は MAX-III に DIA- 型ガイドブロックを装着し、白色 X 線とエネルギー分散法による X 線回折測定を組み合わせ、高压下で地球マントル物質の相平衡や状態方程式に関する研究が行われていました。近年はそれに加え、D-DIA 型および D-111 型ガイドブロックをいち早く導入し、50-60 keV の高エネルギー単色 X 線による二次元 X 線回折やラジオグラフィと組み合わせ、高温高压下で定量的な変形実験を行えるステーションとして発展してきました。特に新学術領域の計画研究により開発導入された D-111 型ガイドブロックによる変形実験が本ステーションの最大の特色であり、2017 年度から本格的な運用が開始されています。これにより NE7A は地球下部マントル領域に相当する圧力 30 GPa までの変形実験を行うことができる世界唯一のステーションとなっており、海外研究者による実験課題もスタートしています。これらの高度化により、いまだ謎の多いマントル対流やプレートテクトニクスを支配する深部岩石の流動特性を直接的に実験研究することが可能になりました。その他にも高压下でのメルトの物性や構造変化、弾性波速度測定など特色ある研究が活発に行われています。

PF BL-18C

BL-18C では、小型の高压発生装置であるダイヤモンドアンビルセル (DAC) を利用し、放射光の特長を生かして超高压条件下での物質の構造をその場観察することを目的としています。主として単色 X 線とイメージングプレート (IP) を利用した室温高压条件下での粉末 X 線回折の測定が行われており、高压下での格子定数・原子座標の精密測定、結晶構造解析、高压下での相転移の観察などが行われています。また、本ビームラインにはユーザーの外部資金によって導入されたクライオスタットも装備されており、低温高压条件下での X 線回折測定も可能です。さらに最近では高压条件下での小角散乱測定も行われています。

令和元年度第 1 回 PF-UA 幹事会議事録

日時: 令和元年 9 月 24 日 13:00 - 15:00

場所: KEK つくばキャンパス セミナーホール

出席者: [幹事会] 清水敏之 (会長), 植草秀裕 (庶務), 田中信忠 (会計), 伏信進矢, 北島昌史 (行事), 阿部善也, 沼子千弥 (推薦・選挙管理), 船守展正 (施設長)

・会長挨拶 (清水 会長)・議事次第紹介 (植草 庶務幹事)

【報告事項】

- ・行事報告 (北島, 伏信 行事幹事)
- ・広報報告 (植草 庶務幹事 (山本 広報幹事代理))

- ・会計報告 (田中 会計幹事)
- ・施設報告 (船守 施設長)

【協議事項】 (植草 庶務幹事)

- ・次期会長選挙について
- ・PF-UA による研究会等活動支援について
- ・UG 継続申請の審査方法について
- ・幹事会, 運営委員会内規について
- ・その他

令和元年度第 1 回 PF-UA 運営委員会議事録

日時: 令和元年 9 月 24 日 15:00 - 17:00

場所: KEK つくばキャンパス セミナーホール

出席者: [幹事] 清水敏之 (会長), 植草秀裕 (庶務), 田中信忠 (会計), 伏信進矢, 北島昌史 (行事), 阿部善也, 沼子千弥 (推薦・選挙管理), [運営委員] 一國伸之, 奥部真樹, 腰原伸也, 佐々木聡, 佐藤友子, 志村考功, 手塚泰久, 横谷明德, 足立伸一, 雨宮健太, 船守展正

- ・会長挨拶 (清水 会長)・議事次第紹介 (植草 庶務幹事)

【報告事項】

- ・行事報告 (北島, 伏信 行事幹事)
量子ビームサイエンスフェスタ (QBSF), JSR における PF-UA の集いについて日程等を報告した。QBSF は 2020 年 3 月 12 日 (木) ~ 14 日 (土), ザ・ヒロサワ・シティ会館 (水戸) (旧・茨城県立県民文化センター) で開催される。すでにホームページが開設されている。JSR における PF-UA の集いは 2020 年 1 月 12 日 (日) ウィンクあいちで開催される
- ・広報報告 (植草 庶務幹事 (山本 広報幹事代理))
PF-UA だより (PF ニュース) に連載している UG 紹介の進行について報告した。
- ・会計報告 (田中 会計幹事)
平成 30 年度会計最終報告, 令和元年度予算案について報告した。平成 30 年度会計最終報告を承認した。
- ・施設報告 (船守 施設長)
PF 新体制発足記念講演会の内容をもとに, PF 高度化, R&D ビームライン, 10 年先を見据えた長期計画を説明した。2019 年度運転予定, 2020 年度概算要求, PF-PAC での今後の検討事項について説明した。

【協議事項】 (植草 庶務幹事)

- ・次期会長選挙について
阿部, 沼子 推薦・選挙管理幹事より, 次期会長選候補の推薦が要請された。選挙日程が提案され了承した。
- ・PF-UA による研究会等活動支援について
PF-UA, UG が主催する研究会等, および PF 研究会を後援し資金支援を行うことに関する内規を協議した。支援申請のあった PF 研究会への支援を承認した。

- UG 継続申請の審査方法について
UG 継続申請を共同利用小委員会で検討し、運営委員会の協議を経て承認するという申し合わせを確認した。
- 幹事会、運営委員会内規について
幹事会、運営委員会の成立、審議、議決に関する内規を協議した。メール審議に関する内規を協議した。
- その他
 - ユーザー登録者以外の関係者への入会勧誘、会則・細則の英語化、ホームページのアップデートについて協議し、いずれも推進することを決めた。
 - JSR における幹事会、運営委員会の開催について協議し、10月31日までにJSR組織委員会に開催の有無を連絡することとした。

PF-UA の集い 開催のご案内

PF-UA の集いを、JSR2020（第33回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム）の一部として、以下のとおり開催する予定です。皆様の多数のご参加をお待ちしております。

日時：2020年1月12日（日）12:00～13:00

場所：愛知県産業労働センター（ウインクあいち）
大会議室 901

アクセス：名古屋駅徒歩5分

JSR2020 につきまして、詳細は以下の URL をご覧ください。
<http://www.jssrr.jp/jsr2020/>

人事異動

	発令年月日	氏 名	現 職	旧 職
(採用)	2019. 9. 1	齊藤耕太郎	物構研 放射光科学第二研究系 研究員	
	2019. 8. 1	山本 樹	物構研 放射光科学第二研究系 特任教授	物構研 放射光科学第二研究系 研究員
	2019. 9. 1	安達成彦	物構研 放射光科学第二研究系 特任准教授	物構研 放射光科学第二研究系 特別助教
	2019. 10. 1	福本恵紀	物構研 放射光科学第二研究系 特任准教授	物構研 放射光科学第二研究系 特任助教
(辞職)	2019. 9. 30	小畑由紀子	東京工業大学科学技術創成研究院 フロンティア材料研究所 特任助教	物構研 放射光科学第一研究系 博士研究員
	2019. 9. 30	原田彩佳	慶應義塾大学 薬学部 助教	物構研 放射光科学第二研究系 研究員
	2019. 10. 31	湯川 龍	大阪大学大学院工学研究科 助教	物構研 放射光科学第一研究系 特任助教

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構
物質構造科学研究所教員公募について

本機構では、下記のとおり教員を公募いたします。

記

公募番号 物構研19-3

1. 公募職種及び人員
教授(常勤) 1名(任期なし)
本機構の教員の職名は、教授、准教授、講師、研究機関講師及び助教であるが、機構の性格から、大学における講座制とは異なる運営が行われる。また、本機構の教員の定年は63歳である。
 2. 研究(職務)内容
大学共同利用機関である物質構造科学研究所では、放射光、中性子、ミュオン、低速陽電子を幅広くかつ横断的に利用した物質・生命科学研究を推進している。
本公募の教授は、放射光実験施設の運営部門に所属し、放射光を利用した研究・教育の実績に基づき、運営に係る制度の整備・改善と運用を主導する。勤務地は、つくばキャンパスである。
 3. 応募資格
研究教育上の能力があると認められる者。
 4. 給与等
給与及び手当は本機構の規則による。(機構では今年度中に新年俸制を導入予定であり、導入までは月給制、導入後は年俸制を適用する)
 5. 公募締切
2019年12月18日(水) 正午必着
 6. 着任予定時期
採用決定後できるだけ早い時期
 7. 選考方法
原則として面接選考とする。ただし、第一段階の審査として書類選考を行うことがある。
面接予定日:2020年1月中旬以降(対象となる方には、おって詳細をお送りいたします。)
 8. 提出書類
(1) 履歴書: KEK指定様式(https://www.kek.jp/ja/Jobs/post_2.html よりダウンロードしてください。)
※KEK指定様式以外の履歴書を使用する場合は、通常の履歴事項の後に必ず応募する公募番号(2件以上応募の場合はその順位)、推薦者(もしくは意見者)、電子メールアドレス及び、可能な着任時期を明記すること。
(2) 研究歴: 別刷を提出する論文の位置付けを含めること。
(3) 業績リスト: 以下の所定様式に従って作成すること。該当のないものは省略可。
 1. 査読付き原著論文リスト
 - ・和文と英文は別葉とし、共著の論文については原則として共著者名を論文記載順にすべて記入すること。(ただし、共著者数が極端に多い場合は省略可。)また応募者の名前は下線をつけて示すこと。
 - ・論文に整理番号を1からつけること。提出する論文別刷の番号には○印を付すこと。
 - ・著者、論文題目、論文誌名、巻数、発行年、ページ(始めと終わり)はもれなく記載すること。記載の順番は問わない。
 2. 総説、著書リスト
 3. その他の発表論文リスト(査読のない論文、会議録、紀要等)
 4. 国際会議等の招待講演リスト
 5. その他、外部資金獲得状況や受賞歴など参考となる業績
 - (4) 着任後の抱負(研究計画等を含む)
 - (5) 論文別刷: 主要なもの5編程度
 - (6) 履歴書に記載の推薦者(意見者)からの推薦書または参考意見(宛名は物質構造科学研究所長 小杉信博とすること)
※上記の書類は、すべてA4判横書きとし、それぞれ別葉として各葉に氏名を記入すること。
※2件以上応募の場合、内容が同じであれば提出書類は一部で良いが、異なる場合は提出書類を別々に用意すること(推薦書等も同様とする)。
9. 書類送付
(1) 応募資料
当機構の Web システムを利用して提出してください。
※個人ごとにアップロード用のパスワードを発行しますので、応募される方は人事第一係(jnjl@ml.post.kek.jp)宛に電子メールでご連絡ください。(件名は「物構研 19-3 応募希望」とし、本文に所属、氏名及び電話番号を記載してください。)
※応募に係るファイルは、PDF でお願ひします。
※Web システムでのアップロードが困難な場合は、人事第一係までお問い合わせください。
※電子メールでのファイル添付による応募は受け付けることができませんので、ご注意ください。
(2) 推薦書または参考意見書
郵送もしくは電子メール(件名は「物構研 19-3 推薦書」とし、添付ファイルは PDF でお願いします。)で送付してください。
送付先 〒305-0801 茨城県つくば市大徳1-1
大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構
総務部人事労務課人事第一係 (E-mail: jnjl@ml.post.kek.jp)
注) 電子メールは様々な理由により受信できない可能性があります。数日以内に返信がない場合には、別メールアドレスや電話等によりご連絡ください。
10. 問い合わせ先
(1) 研究内容等について
放射光実験施設 実験施設長 船守 展正 TEL: 029-879-6256 (ダイヤル) e-mail: nobumasa.funamori@kek.jp
(2) 提出書類について
総務部人事労務課人事第一係 TEL: 029-864-5118 (ダイヤル) e-mail: jnjl@ml.post.kek.jp
11. その他

本公募に関する、より詳細な説明は、以下を参照してください。

<https://www2.kek.jp/inss/employment/IMSS19-3-j.html>

本機構は、男女共同参画を推進しており、「男女共同参画社会基本法」の趣旨に則り、業績(研究業績、教育業績、社会的貢献等)及び人物の評価において優劣をつけがたい最終候補者(男女)がいた場合、女性を優先して採用します。

男女共同参画推進室 (<https://www2.kek.jp/geo/>)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構
物質構造科学研究所教員公募について

本機構では、下記のとおり教員を公募いたします。

記

公募番号 物構研19-4

1. 公募職種及び人員

准教授(常勤) 1名(任期なし)

本機構の教員の職名は、教授、准教授、講師、研究機関講師及び助教であるが、機構の性格から、大学における講座制とは異なる運営が行われる。また、本機構の教員の定年は63歳である。

2. 研究(職務)内容

大学共同利用機関である物質構造科学研究所では、放射光、中性子、ミュオン、低速陽電子を幅広くかつ横断的に利用した物質・生命科学研究を推進している。

本公募の准教授は、低速陽電子実験施設に所属し、共同利用施設としての運営に携わるとともに、ビームラインの整備・高性能化等により高度な物質科学研究を推進する。勤務地は、つくばキャンパスである。

3. 応募資格

研究教育上の能力があると認められる者。

4. 給与等

給与及び手当は本機構の規則による。(機構では今年度中に新年俸制を導入予定であり、導入までは月給制、導入後は年俸制を適用する)

5. 公募締切

2019年12月18日(水) 正午必着

6. 着任予定時期

採用決定後できるだけ早い時期

7. 選考方法

原則として面接選考とする。ただし、第一段階の審査として書類選考を行うことがある。
面接予定日:2020年1月中旬以降(対象となる方には、おって詳細をお送りいたします。)

8. 提出書類

(1) 履歴書: KEK指定様式(https://www.kek.jp/ja/Jobs/post_2.html よりダウンロードしてください。)

※KEK指定様式以外の履歴書を使用する場合は、通常の履歴事項の後に必ず応募する公募番号(2件以上応募の場合はその順位)、電子メールアドレス及び、可能な着任時期を明記すること。

(2) 研究歴: 別刷を提出する論文の位置付けを含めること。

(3) 業績リスト:以下の所定様式に従って作成すること。該当のないものは省略可。

1. 査読付き原著論文リスト

・和文と英文は別葉とし、共著の論文については原則として共著者名を論文記載順にすべて記入すること。(ただし、共著者数が極端に多い場合は省略可。)また応募者の名前は下線をつけて示すこと。

・論文に整理番号を1からつけること。提出する論文別刷の番号には○印を付すこと。

・著者、論文題目、論文誌名、巻数、発行年、ページ(始めと終わり)はもれなく記載すること。記載の順番は問わない。

2. 総説、著書リスト

3. その他の発表論文リスト(査読のない論文、会議録、紀要等)

4. 国際会議等の招待講演リスト

5. その他、外部資金獲得状況や受賞歴など参考となる業績

(4) 着任後の抱負(研究計画等を含む)

(5) 論文別刷: 主要なもの5編程度

(6) 履歴書に記載の推薦者(意見者)からの推薦書または参考意見(宛名は物質構造科学研究所長 小杉信博とすること)

※上記の書類は、すべてA4判横書きとし、それぞれ別葉として各葉に氏名を記入すること。

※2件以上応募の場合、内容が同じであれば提出書類は一部で良いが、異なる場合は提出書類を別々に用意すること(推薦書等も同様とする)。

9. 書類送付

(1) 応募資料

当機構の Web システムを利用して提出してください。

※個人ごとにアップロード用のパスワードを発行しますので、応募される方は人事第一係(jin1@ml.post.kek.jp)宛に電子メールでご連絡ください。(件名は「物構研 19-4 応募希望」とし、本文に所属、氏名及び電話番号を記載してください。)

※応募に係るファイルは、PDF をお願いします。

※Web システムでのアップロードが困難な場合は、人事第一係までお問い合わせください。

※電子メールでのファイル添付による応募は受け付けることができませんので、ご注意ください。

(2) 推薦書または参考意見書

郵送もしくは電子メール(件名は「物構研 19-4 推薦書」とし、添付ファイルはPDF をお願いします。)で送付してください。

送付先 〒305-0801 茨城県つくば市大徳1-1

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構

総務部人事労務課人事第一係 (E-mail: jin1@ml.post.kek.jp)

注) 電子メールは様々な理由により受信できない可能性があります。数日以内に返信がない場合には、別メールアドレスや電話等によりご連絡ください。

10. 問い合わせ先

(1) 研究内容等について

物質構造科学研究所 所長 小杉 信博 TEL: 029-864-5604 (ダイヤルイン) e-mail: kosugi@post.kek.jp

(2) 提出書類について

総務部人事労務課人事第一係 TEL: 029-864-5118 (ダイヤルイン) e-mail: jin1@ml.post.kek.jp

11. その他

本機構は、男女共同参画を推進しており、「男女共同参画社会基本法」の趣旨に則り、業績(研究業績、教育業績、社会的貢献等)及び人物の評価において優劣をつけがたい最終候補者(男女)がいた場合、女性を優先して採用します。

男女共同参画推進室 (<https://www2.kek.jp/geo/>)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構
物質構造科学研究所教員公募について

本機構では、下記のとおり教員を公募いたします。

記

公募番号 物構研19-5

1. 公募職種及び人員
助教(常勤) 1名(任期なし)
本機構の教員の職名は、教授、准教授、講師、研究機関講師及び助教であるが、機構の性格から、大学における講座制とは異なる運営が行われる。また、本機構の教員の定年は63歳である。
 2. 研究(職務)内容
大学共同利用機関である物質構造科学研究所では、放射光、中性子、ミュオン、低速陽電子を幅広くかつ横断的に利用した物質・生命科学研究を推進している。
本公募の助教は、放射光科学第一研究系の表面科学研究部門に所属し、同部門のスタッフと共同で、光電子分光や軟X線吸収分光をはじめとする様々な実験手法を用いて、先端的な表面科学研究を推進する。また、そのために必要な実験手法の開発、ビームライン・装置の管理、および大学や研究機関を含めた機構内外の研究者との連携などを行う。勤務地は、つくばキャンパスである。
 3. 応募資格
研究教育上の能力があると認められる者。
 4. 給与等
給与及び手当は本機構の規則による。(機構では今年度中に新年俸制を導入予定であり、導入までは月給制、導入後は年俸制を適用する)
 5. 公募締切
2019年12月18日(水) 正午必着
 6. 着任予定時期
採用決定後できるだけ早い時期
 7. 選考方法
原則として面接選考とする。ただし、第一段階の審査として書類選考を行うことがある。
面接予定日:2020年1月中旬以降(対象となる方には、おって詳細をお送りいたします。)
 8. 提出書類
 - (1) 履歴書: KEK指定様式(https://www.kek.jp/ja/jobs/post_2.html よりダウンロードしてください。)
※KEK指定様式以外の履歴書を使用する場合は、通常の履歴事項の後に必ず応募する公募番号(2件以上応募の場合はその順位)、電子メールアドレス及び、可能な着任時期を明記すること。
 - (2) 研究歴: 別刷を提出する論文の位置付けを含めること。
 - (3) 業績リスト:以下の所定様式に従って作成すること。該当のないものは省略可。
 1. 査読付き原著論文リスト
・和文と英文は別葉とし、共著の論文については原則として共著者名を論文記載順にすべて記入すること。(ただし、共著者数が極端に多い場合は省略可。)また応募者の名前は下線をつけて示すこと。
・論文に整理番号を1からつけること。提出する論文別刷の番号には○印を付すこと。
・著者、論文題目、論文誌名、巻数、発行年、ページ(始めと終わり)はもれなく記載すること。記載の順番は問わない。
 2. 総説、著書リスト
 3. その他の発表論文リスト(査読のない論文、会議録、紀要等)
 4. 国際会議等の招待講演リスト
 5. その他、外部資金獲得状況や受賞歴など参考となる業績
 - (4) 着任後の抱負(研究計画等を含む)
 - (5) 論文別刷: 主要なもの3編以内
 - (6) 履歴書に記載の推薦者(意見者)からの推薦書または参考意見(宛名は物質構造科学研究所長 小杉信博とすること)
※上記の書類は、すべてA4判横書きとし、それぞれ別葉として各葉に氏名を記入すること。
※2件以上応募の場合、内容が同じであれば提出書類は一部で良いが、異なる場合は提出書類を別々に用意すること(推薦書等も同様とする)。
 9. 書類送付
 - (1) 応募資料
当機構の Web システムを利用して提出してください。
※個人ごとにアップロード用のパスワードを発行しますので、応募される方は人事第一係(jnj1@ml.post.kek.jp)宛に電子メールでご連絡ください。(件名は「物構研 19-5 応募希望」とし、本文に所属、氏名及び電話番号を記載してください。)
※応募に係るファイルは、PDF でお願いします。
※Web システムでのアップロードが困難な場合は、人事第一係までお問い合わせください。
※電子メールでのファイル添付による応募は受け付けることができませんので、ご注意ください。
 - (2) 推薦書または参考意見書
郵送もしくは電子メール(件名は「物構研 19-5 推薦書」とし、添付ファイルは PDF でお願いします。)で送付してください。
送付先 〒305-0801 茨城県つくば市大穂1-1
大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構
総務部人事労務課人事第一係 (E-mail: jnj1@ml.post.kek.jp)
- 注) 電子メールは様々な理由により受信できない可能性があります。数日以内に返信がない場合には、別メールアドレスや電話等によりご連絡ください。
10. 問い合わせ先
 - (1) 研究内容等について
放射光科学第一研究系 研究主幹 雨宮 健太 TEL: 029-879-6027 (ダイヤルイン) e-mail: kenta.amemiya@kek.jp
 - (2) 提出書類について
総務部人事労務課人事第一係 TEL: 029-864-5118 (ダイヤルイン) e-mail: jnj1@ml.post.kek.jp
11. その他
本公募に関する、より詳細な説明は、以下を参照してください。
<https://www2.kek.jp/imss/employment/IMSS19-5-j.html>
本機構は、男女共同参画を推進しており、「男女共同参画社会基本法」の趣旨に則り、業績(研究業績、教育業績、社会的貢献等)及び人物の評価において優劣をつけがたい最終候補者(男女)がいた場合、女性を優先して採用します。
男女共同参画推進室 (<https://www2.kek.jp/geo/>)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構
物質構造科学研究所教員公募について

本機構では、下記のとおり教員を公募いたします。

記

公募番号 物構研19-6

1. 公募職種及び人員

特別助教(常勤) 1名(任期4年)

3年目に定年制への移行の可否を審査する。ただし、着任前および着任後の経験と実績により、期間を短縮して定年制に移行する場合もある。

本機構の教員の職名は、教授、准教授、講師、研究機関講師、及び助教であるが、機構の性格から、大学における講座制とは異なる運営が行われる。

2. 研究(職務)内容

大学共同利用機関である物質構造科学研究所では、放射光、中性子、ミュオン、低速陽電子の各施設を幅広くかつ横断的に利用した物質・生命科学を推進している。

本公募の特別助教は、放射光実験施設の測定装置部門に所属し、主に高圧科学ビームライン群の整備・高度化と利用実験を推進する。勤務地はつくばキャンパスである。

3. 応募資格

研究教育上の能力があると認められる者。

4. 給与等

給与及び手当は本機構の規則による。(年俸制)

5. 公募締切

2019年12月18日(水) 正午必着

6. 着任予定時期

2020年4月1日以降できるだけ早い時期

7. 選考方法

原則として面接選考とする。ただし、第一段階の審査として書類選考を行うことがある。

面接予定日:2020年1月中旬以降(対象となる方には、おって詳細をお送りいたします。)

8. 提出書類

(1) 履歴書: KEK指定様式(https://www.kek.jp/ja/jobs/post_2.html よりダウンロードしてください。)

※KEK指定様式以外の履歴書を使用する場合は、通常の履歴事項の後に必ず応募する公募番号(2件以上応募の場合はその順位)、推薦者(もしくは意見者)、電子メールアドレス及び、可能な着任時期を明記すること。

(2) 研究歴: 別刷を提出する論文の位置付けを含めること。

(3) 業績リスト: 以下の所定様式に従って作成すること。該当のないものは省略可。

1. 査読付き原著論文リスト

・和文と英文は別葉とし、共著の論文については原則として共著者名を論文記載順にすべて記入すること。(ただし、共著者数が極端に多い場合は省略可。)また応募者の名前には下線をつけて示すこと。

・論文に整理番号を1からつけること。提出する論文別刷の番号には○印を付すこと。

・著者、論文題目、論文誌名、巻数、発行年、ページ(始めと終わり)はもれなく記載すること。記載の順番は問わない。

2. 総説、著書リスト

3. その他の発表論文リスト(査読のない論文、会議録、紀要等)

4. 国際会議等の招待講演リスト

5. その他、外部資金獲得状況や受賞歴など参考となる業績

(4) 着任後の抱負(研究計画等を含む)

(5) 論文別刷: 主要なもの3編以内

(6) 履歴書に記載の推薦者(意見者)からの推薦書または参考意見書(宛名は物質構造科学研究所長 小杉信博とすること)

※上記の書類は、すべてA4判横書きとし、それぞれ別葉として各葉に氏名を記入すること。

※2件以上応募の場合、内容が同じであれば提出書類は一部で良いが、異なる場合は提出書類を別々に用意すること(推薦書等も同様とする)。

9. 書類送付

(1) 応募資料

当機構の Web システムを利用して提出してください。

※個人ごとにアップロード用のパスワードを発行しますので、応募される方は人事第一係(jnjl@ml.post.kek.jp)宛に電子メールでご連絡ください。(件名は「物構研 19-6 応募希望」とし、本文に所属、氏名及び電話番号を記載してください。)

※応募に係るファイルは、PDF をお願いします。

※Web システムでのアップロードが困難な場合は、人事第一係までお問い合わせください。

※電子メールでのファイル添付による応募は受け付けることができませんので、ご注意ください。

(2) 推薦書または参考意見書

郵送もしくは電子メール(件名は「物構研 19-6 推薦書」とし、添付ファイルはPDF をお願いします。)で送付してください。

送付先 〒305-0801 茨城県つくば市大徳1-1

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構

総務部人事労務課人事第一係 (E-mail: jnjl@ml.post.kek.jp)

注) 電子メールは様々な理由により受信できない可能性がありますが、数日以内に返信がない場合には、別メールアドレスや電話等によりご連絡ください。

10. 問い合わせ先

(1) 研究内容等について

放射光実験施設 実験施設長 船守 展正 TEL: 029-879-6256 (ダイヤルイン) e-mail: nobumasa.funamori@kek.jp

(2) 提出書類について

総務部人事労務課人事第一係 TEL: 029-864-5118 (ダイヤルイン) e-mail: jnjl@ml.post.kek.jp

11. その他

本公募に関する、より詳細な説明は、以下を参照してください。

<https://www2.kek.jp/imss/employment/IMSS19-6-j.html>

本機構は、男女共同参画を推進しており、「男女共同参画社会基本法」の趣旨に則り、業績(研究業績、教育業績、社会的貢献等)及び人物の評価において優劣をつけがたい最終候補者(男女)がいた場合、女性を優先して採用します。

男女共同参画推進室 (<https://www2.kek.jp/geo/>)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構
物質構造科学研究所教員公募について

本機構では、下記のとおり教員を公募いたします。

記

公募番号 物構研 19-7

1. 公募職種及び人員
特任助教(常勤) 1名(任期 単年度契約で 2021 年度末まで)
本機構の教員の職名は、教授、准教授、講師、研究機関講師、及び助教であるが、機構の性格から、大学における講座制とは異なる運営が行われる。
 2. 研究(職務)内容
大学共同利用機関である物質構造科学研究所では、放射光、中性子、ミュオン、低速陽電子を先端的かつ横断的に利用した物質・生命科学研究を推進している。
本候補者は、同研究所の放射光科学第2研究系の構造生物学研究センターに所属し、創業等先端技術支援基盤プラットフォーム(BINDS)事業のタンパク質X線結晶構造解析業務などに携わる。具体的には、糖鎖に関連するタンパク質およびその複合体を中心に、発現、精製、結晶化、X線回折実験、構造解析、を通じ生命科学研究を行う。
 3. 応募資格
職務内容について知識及び経験を有し、職務実施上の能力があると認められる者で、博士の学位を有すること。
 4. 給与等
給与及び手当は本機構の規則による(年俸制)
 5. 公募締切
2019年12月18日(水)正午必着
 6. 着任予定時期
採用決定後できるだけ早い時期
 7. 選考方法
原則として面接選考とする。ただし、第一段階の審査として書類選考を行うことがある。
面接予定日: 決定次第機構 Web サイトに掲示します。また、対象となる方には追って詳細をお送りいたします。
 8. 提出書類
(1) 履 歴 書—— KEK指定様式 (https://www.kek.jp/ja/jobs/post_2.html よりダウンロードしてください。)
※KEK指定様式以外の履歴書を使用する場合は、通常の履歴事項の後に必ず応募する公募番号(2件以上応募の場合はその順位)、電子メールアドレス及び、可能な着任時期を明記すること。
(2) 研 究 歴—— 提出する論文別刷の位置付けを含めること。
(3) 業 績 リ ス ト—— 以下の所定様式に従って作成すること。該当のないものは省略可。
 1. 査読付き原著論文リスト
 - ・和文と英文は別葉とし、共著の論文については原則として共著者名を論文記載順にすべて記入すること。(ただし、共著者数が20名以上の場合は省略可。)また応募者の名前には下線をつけて示すこと。
 - ・論文に整理番号を1からつけること。提出する論文別刷の番号には○印を付すこと。
 - ・著者、論文題目、論文誌名、巻数、発行年、ページ(始めと終わり)はもれなく記載すること。記載の順番は問わない。
 2. 総説、著書リスト
 3. その他の発表論文リスト(査読のない論文、会議録、紀要等)
 4. 国際会議等の招待講演リスト
 5. その他、外部資金獲得状況や受賞歴など参考となる業績
 - (4) 着任後の抱負
 - (5) 論 文 別 刷—— 主要なもの、5編程度
 - (6) 履歴書記載の推薦者(意見者)からの推薦書または参考意見書(宛名は物質構造科学研究所長 小杉信博とすること)
※上記の書類は、すべてA4判横書きとし、それぞれ別葉として各葉に氏名を記入すること。
※2件以上応募の場合、内容が同じであれば提出書類は一部で良いが、異なる場合は提出書類を別々に用意すること(推薦書等も同様とする)。
9. 書類送付
(1) 応募資料
当機構の Web システムを利用して提出してください。
※個人ごとにアップロード用のパスワードを発行しますので、応募される方は人事第一係(jnj1@ml.post.kek.jp)宛に電子メールでご連絡ください。(件名は「物構研 19-7 応募希望」とし、本文に所属、氏名及び電話番号を記載してください。)
※応募に係るファイルは、PDF でお願いします。
※Web システムでのアップロードが困難な場合は、人事第一係までお問い合わせください。
※電子メールでのファイル添付による応募は受け付けることができませんので、ご注意ください。
(2) 推薦書または参考意見書
郵送もしくは電子メール(件名は「物構研 19-7 推薦書」とし、添付ファイルは PDF でお願いします。)で送付してください。
送付先 〒305-0801 茨城県つくば市大徳1-1
大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構
総務部人事労務課人事第一係 (E-mail: jnj1@ml.post.kek.jp)
10. 問い合わせ先
(1) 研究内容等について
放射光科学第一研究系 研究主幹 雨宮 健太 TEL: 029-879-6027 (ダイヤルイン) e-mail: kenta.amemiya@kek.jp
(2) 提出書類について
総務部人事労務課人事第一係 TEL: 029-864-5118 (ダイヤルイン) e-mail: jnj1@ml.post.kek.jp
11. その他
本公募に関する、より詳細な説明は、以下を参照してください。
<https://www2.kek.jp/imss/employment/IMSS19-5-j.html>
本機構は、男女共同参画を推進しており、「男女共同参画社会基本法」の趣旨に則り、業績(研究業績、教育業績、社会的貢献等)及び人物の評価において優劣をつけがたい最終候補者(男女)がいた場合、女性を優先して採用します。
男女共同参画推進室 (<https://www2.kek.jp/geo/>)

注) 電子メールは様々な理由により受信できない可能性があります。数日以内に返信がない場合には、別メールアドレスや電話等によりご連絡ください。

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構
物質構造科学研究所 研究員公募

1. 公募職種及び人員

研究員 1名 (任期 単年度契約で最長2023年度末まで)

2. 研究(職務)内容

物質構造科学研究所放射光科学第二研究系に所属し、科学研究費補助金・基盤研究(S)「糖アルコールリン酸修飾のバイオロジー(2019-2023年 研究代表者 東京都健康長寿医療センター研究所・遠藤玉夫)」によって推進されるタンパク質立体構造解析業務などに携わる。具体的には、当該研究に関連するタンパク質およびその複合体を中心に、発現、精製、結晶化、X線回折実験、構造解析や他の手法(生化学実験、溶液散乱実験、電子顕微鏡実験など)を通じ、生命科学研究を行う。

3. 応募資格

職務内容について知識及び経験を有し、職務実施上の能力があると認められる者で、博士の学位を有するか取得見込みである者。

4. 給与等

年俸制、フルタイム(週38時間45分)勤務

給与及び手当は本機構の規則によるが、経験、能力、実績に応じて決定

KEK職員宿舎(単身、世帯)貸与可(空室の状況による)

社会保険加入(共済組合、雇用保険、労災保険)

要件を満たせば、通勤手当、住居手当を支給可能

5. 公募締切

2019年12月18日(水)

6. 着任予定時期

相談の上、決定後できるだけ早い時期

7. 選考方法

面接選考を基本とするが、それに先立ち書類選考を行う。

8. 提出書類

(1) 履歴書----- KEK指定様式 (https://www.kek.jp/ja/Jobs/post_2.html よりダウンロードしてください。)

※KEK指定様式以外の履歴書を使用する場合は、通常の履歴事項の後に必ず電子メールアドレス及び、可能な着任時期を明記すること。

(2) 研究歴-----A4で1-2枚程度

(3) 発表論文リスト----- 和文と英文、査読あるなしで分類すること。

(4) 着任後の抱負----- A4で1-2枚程度

(5) 論文別刷----- 主要なもの、3編以内

(6) その他参考資料(外部資金獲得状況、国際会議招待講演、受賞歴等)

(7) 本人に関して参考意見の問合せのできる方2名の、氏名、所属、および連絡先

※上記の書類は、すべてA4判横書きとし、(5)以外には各葉に氏名を記入すること。

9. 書類送付

下記問い合わせ先に、PDFファイルをメール添付でお送り下さい。ファイルサイズが大きくなり過ぎない場合には、当機構の Web システムを利用して提出してください。その際に必要な個人ごとのアップロード用パスワードについても下記問い合わせ先に電子メールでご連絡ください。

10. 問い合わせ先

研究業務内容などについての問合せは、下記までお願いします。

高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 構造生物学研究センター

准教授 加藤龍一

TEL: 029-879-6177 e-mail: ryuichi.kato@kek.jp

11. その他

本機構は、男女共同参画を推進しており、「男女共同参画社会基本法」の趣旨に則り、業績(研究業績、教育業績、社会的貢献等)及び人物の評価において優劣をつけがたい最終候補者(男女)がいた場合、女性を優先して採用します。

男女共同参画推進室 <http://www2.kek.jp/geol/>

PAC 速報

放射光実験施設 運営部門 兵藤 一行
宇佐美徳子

放射光共同利用実験審査委員会（PF-PAC）が、10月2日（水）10:00-15:00に開催されました。PF-PACは、「放射光を用いて行う実験の申請課題について、採択の適否の審査を行うとともに、放射光を用いる研究計画に関する重要事項について審議するための委員会（物質構造科学研究所放射光共同利用実験審査委員会規程）」です。前回、7月開催の全体会議でPF-PAC委員長からの提案が了承され、今年度は4回の全体会議開催を予定しています。今回はその2回目の全体会議開催でした。

従来からPF-PACで議論してきた課題等を考慮しながらPFから検討提案をさせていただいた以下の5項目を含めて、今回、意見交換がなされました。これらの項目は、現在の実験課題審査等の制度に関して大学共同利用機関としての放射光実験施設の役割がより明確になるような制度の再構築という観点から提案をさせていただいたものです。これらの5項目を含めて、引き続き、PF-PAC、PF内部で意見交換をして、PF-UAとも連携しながら、各種システムの改造を含めて今後の具体的対応を決めていく予定です。

【検討項目】

1. 分科会の最適化

課題：研究分野や研究方法の発展を考慮した最適な分科会設定を検討すること。

【分科会の設定】

<https://www2.kek.jp/imss/pf/use/proposal/>

2. 無償利用プログラムの整理と審査方法の最適化

課題：評点付与方法を含む審査方法の検討、所内スタッフ優先課題および留保課題を整理すること。

【評価基準】

https://www2.kek.jp/uskek/apply/pfpac_process.html

【所内スタッフ優先課題】

<https://www2.kek.jp/imss/pf/use/program/yusenbt.html>

【留保課題】

<https://www2.kek.jp/imss/pf/use/program/ryuhobt.html>

3. 複数分科課題の申請

課題：複数の手法を利用した実験課題申請がなされている。それぞれの手法に関して申請書への記述が十分になされていない場合もあり、審査の観点から一枚の申請書による実験課題申請か別の実験課題としての申請が望ましいのかに

関して検討すること。

【研究公募要項】

<https://www2.kek.jp/uskek/apply/pf.html>

4. イエローカード制度

課題：KEKへの出版論文登録を促進するために制度が設定され運用されてきたが、現在は出版論文登録に関して十分に周知されつつある。現在の制度運用を維持しながら評点の減点については、学術研究はすぐに成果が出なくても最終的に良い成果が上がることを期待しながら行うものである、という観点から再検討を行うこと。

【評価基準】

https://www2.kek.jp/uskek/apply/pfpac_process.html

5. 旅費支給基準

課題：旅費に関しても経費が削減されてきているなかで、どのような配分が望ましいのかについて検討を行うこと。

【意見交換】

1. 分科会の最適化

基本的に現在の分科会方式で良いと考えられる、小角散乱、X線イメージング、検出器開発など研究分野が混在している生命科学II分科会への対応は課題である、サイエンスを重視した評価とともに技術開発を目的とした課題への考慮も必要、分科会設定を申請者やレフリーにわかりやすく提示することは必要、などの意見が出された。

2. 無償利用プログラムの整理と審査方法の最適化

■ G型課題

レフリー審査、分科会審査とも現在の絶対評価と評点付与方法が望ましいと考えられる、評点基準の十分な周知が必要だ、などの意見が出された。評点基準を再設定して明確化し（学問点以外の評点の扱いをどのように考慮するのかを含む）、レフリー、申請者に周知することで現在の審査方式を継続する方向で検討を行うことになった。

■ P型課題（初心者型）

今後は評点方式ではなく採択・不採択の二択とする方向と設定して、チームライン担当者によるチームタイム配分に関する裁量や審査体制について、引き続き、検討を行うことになった。

■ PF課題（所内スタッフ優先課題および留保課題の整理）以下の3つのカテゴリーがPF-PAC委員長から提案された。

- ・ 施設戦略の推進（PF-S）：開発研究、共同研究、国家プロジェクトなど（PFスタッフを責任者とする現在のS2型相当課題の一部を含む）
- ・ 一般の利用推進（PF-G）：予備実験、故障対応など
- ・ 教育と人材育成（PF-T）：講習・実習、IMSS学生研究

など

上記提案に関して、基本的にこの方向で良いだろう、従来のS2型課題をPFからのPF内部課題に設定すると透明性や公平性に問題があるのではないか、コミュニティ全体へのメリットを考慮することも必要だろう、研究進展状況の情報開示は重要、などの意見が出された。

3. 複数分科課題の申請

現行制度を続けながら、分科会の最適化や評点付与方法の検討と連動して検討を続けることになった。また、申請書への記述方法について更なる情報周知も検討する。

4. イエローカード制度

現在の実験課題申請システムでのイエローカード対応の運用は継続したほうが良い、課題評点の減点は基本的にしない方向とするが分科会での裁量は残す、PF-PAC委員長から提案された過去10年間の採択課題の情報や論文出版に関する情報をレフリー審査や分科会審査時に開示することは有用だろう、などの意見が出された。

5. 旅費支給基準

- ・ 原則として、外部資金のある課題には旅費支給を辞退してもらおう。
- ・ 辞退した課題には、例えば評点の枠内でチームタイム配分の際に考慮するなどのインセンティブを検討する。
- ・ 辞退分は外部資金のない研究室の学生への支給に充てる。

上記のPF-PAC委員長提案は基本的に良い方向だろう、辞退分は各課題への2人目への支給として学生に割り当てることが良いだろう、インセンティブについては考慮の必要はないのではないかと、学生への支給については公表していくことが重要だろう（辞退により何件の旅費補助を実施できたかなど）、PFとして旅費支給に関する外部資金導入を検討する必要があるだろう、などの意見が出された。

上記、検討項目に関してご意見やご提案がある方は、pf-sec@pfiqst.kek.jp (PF 秘書室)宛にお寄せいただきますようお願いいたします。

物構研談話会・コロキウム

日時：11/14 (木) 14:30～

題名：Molecular Analysis of NFAT/ICER Repressor Complexes and their Role in nTreg-cell mediated Suppression

講師：Dr. Josef Bodor (BIOCEV/Charles Univ.)

第115回物質構造科学研究所運営会議 議事次第

日時：令和元年10月7日(月)13:30～

場所：高エネルギー加速器研究機構 管理棟大会議室
議事

【1】第111回～第114回議事要録について

【2】所長報告

【3】審議

- (1) 教員公募(教授1名:放射光施設)
- (2) 教員公募(特別助教1名:放射光施設)
- (3) 教員公募(助教1名:放射光一)
- (4) 教員公募(特任助教1名:放射光二)
- (5) 教員公募(准教授1名:低速陽電子)
- (6) 物構研共同利用実験課題公募における条件の見直しについて
- (7) 教員の特定人事について(助教1名・特定人事:測定装置部門1)
- (8) 教員の特定人事について(助教1名・特定人事:測定装置部門2)
- (9) 教員の特定人事について(助教1名・特定人事:基盤技術部門)
- (10) 教員人事(助教1名:ミュオン)
- (11) 特定有期雇用職員の昇任人事について(物構研・特別教授:中性子)

【4】報告

- (1) 人事異動
- (2) 研究員の選考結果について
- (3) 2019年度後期放射光共同利用実験課題審査結果について(条件解除)
- (4) 2019年度(令和元年度)放射光共同利用実験課題審査結果について(P型)
- (5) 2019年度後期フォトンファクトリー研究会採択状況について
- (6) 協定等の締結について(国内機関関係)

【5】研究活動報告(資料配付のみ)

- (1) 物質構造科学研究所報告
- (2) 素粒子原子核研究所報告
- (3) 加速器研究施設報告
- (4) 共通基盤研究施設報告

※第112-114回は書面審議。

「PF ニュース」からのお知らせ

平成 24 年度からの PF-UA の発足に伴い、PF ニュースはウェブが主体となりましたが、引き続きご愛読を賜り感謝致します。今後も新しい企画記事の連載など誌面の充実につとめ、PF ニュースをより魅力あるものにしていきます。PF ニュースウェブページには、冊子版では白黒となっている図等もオリジナルのカラーのものを掲載しています。ウェブ版もお楽しみ頂ければと思います。

ウェブ掲載時にはメールでお知らせするシステムも運用しています。希望される方は、どうぞご登録下さい。PF ニュースウェブページにフォームを掲載しています（※ KEK の共同利用者支援システムでユーザー登録をされた皆様には、PF メルマガが配信され、そちらにも PF News 発行のお知らせが載りますので、その方はお知らせメールの登録は必要ありません）。

PF ニュース編集委員一同

投稿のお願い

【最近の研究から】

PF で行われた実験、研究の成果をお寄せ下さい。

【建設・改造ビームラインを使って】

特にビームラインの改良点、他のビームラインとの比較、要望等を是非お聞かせ下さい。

【ユーザーとスタッフの広場】

PF での実験の成果等が認められ受賞された方、海外放射光施設に滞在、訪問された方、国際会議等に参加された方、修士論文等、どうぞご投稿下さい。また PF に対するご意見等がありましたら是非ご投書下さい。

詳細は事務局または PF ニュース HP をご覧下さい。

宛 先

〒 305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1
高エネルギー加速器研究機構
物質構造科学研究所 放射光実験施設内
PF ニュース編集委員会事務局
TEL : 029-864-5196 FAX : 029-864-3202
E-mail : pf-news@pfqst.kek.jp
URL : <http://pfwww.kek.jp/publications/pfnews/>

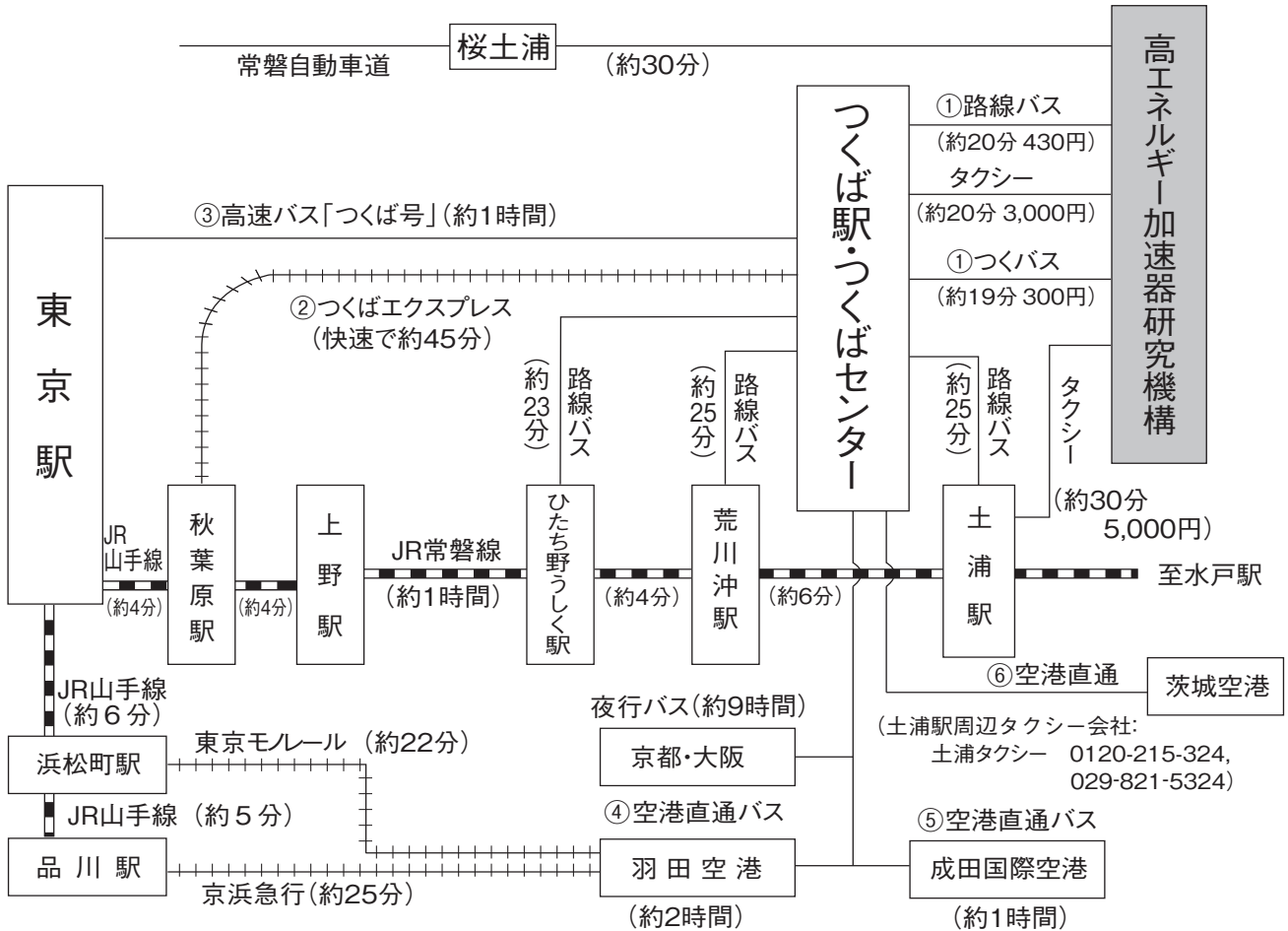
編集後記

談話室では、PF ニュースがテーブルに置かれていると表紙に目を引かれ、休憩の合間にパラパラとページをめくってしまいます。「最近の研究から」の記事を読むと自分の専門分野以外の最先端の研究にも触れることができ、研究に役立つような知見が得られることもあります。実験中のビームラインでは、食堂や売店の営業時間などの情報を確認するのも役立ちます。雑誌の電子化が進み、学会が定期的に出版している学会誌などでは、経費削減のため冊子体を継続するのか議論される昨今、このように傍らにある PF ニュースは冊子体の良さを体現していると思います。もちろん、手にとって読まれるのは、知りたい情報や興味を惹かれる内容が載っているからでしょう。ご縁があって、1 年半ほど前から PF ニュースに編集委員として携わることになりました。編集委員会では、掲載する記事や企画についてアイデアを出し合って、PF ユーザーの方々にも執筆のご協力をいただき、様々な編集作業を経て PF ニュースが創られていることを知りました。そのような創意工夫がなされてきた PF ニュースだからこそ愛用されるのだと思います。残り少ない任期ですが、PF ニュースがより良いものとなるよう助力したいと思います。(M.T.)

* 2019 年度 PF ニュース編集委員 *

委員長	中尾 裕則	KEK 物質構造科学研究所			
副委員長	小松 一生	東京大学理学系研究科			
委員	荒川 孝俊	東京大学大学院農学生命科学研究科			
	石毛 亮平	東京工業大学物質理工学院	宇佐美徳子	KEK 物質構造科学研究所	
	加藤 龍一	KEK 物質構造科学研究所	坂野 昌人	東京大学大学院工学系研究科	
	島田 美帆	KEK 加速器研究施設	杉山 弘	KEK 物質構造科学研究所	
	高木 秀彰	KEK 物質構造科学研究所	武市 泰男	KEK 物質構造科学研究所	
	田中 雅人	東京大学大学院理学研究科	南部 英	(株) 日立製作所基礎研究センタ	
	若林 大佑	KEK 物質構造科学研究所	和田 健	量子科学技術研究開発機構	
	和田 敬広	東京医科歯科大学大学院医歯学総合研究科			
事務局	高橋 良美	KEK 物質構造科学研究所			

KEK アクセスマップ・バス時刻表



(KEK周辺タクシー会社：大曾根タクシー 0120-000-302, 029-864-0301)

(確認日：2019. 10. 23)

①つくばセンター ↔ KEK (2019年10月1日改定)

関東鉄道バス 所要時間 約20分 運賃 460円 (KEKー土浦駅間の料金は800円) つくばセンター乗り場5番

18系統：土浦駅東口→つくばセンター→KEK→つくばテクノパーク大穂 C8系統：つくばセンター→KEK→つくばテクノパーク大穂
71系統：つくばセンター→(西大通り)→KEK→下妻駅 (筑波大学は経由しません)

つくバス 所要時間 約20分 運賃 300円 つくばセンター乗り場3番
HB/HA (北部シャトル)：つくばセンター→KEK→筑波山口 (筑波大学には停まりません)

下り (×は土曜・休日運休、○は土曜・休日運転)

系統	つくばセンター	KEK	系統	つくばセンター	KEK	系統	つくばセンター	KEK	系統	つくばセンター	KEK
HB	7:05	7:25	C8A	× 10:00	× 10:15	HB	15:20	15:40	HB	19:30	19:50
C8	× 7:20	× 7:35	HB	10:20	10:40	HB	15:50	16:10	HB	20:10	20:30
HB	7:25	7:45	HB	10:50	11:10	C8	× 16:25	× 16:40	HB	20:30	20:50
C8	× 7:50	× 8:05	C8	10:55	11:10	HB	16:30	16:50	HB	21:20	21:40
HB	7:50	8:10	71	11:00	11:21	71	× 16:35	16:56	HB	21:50	22:10
18	○ 8:10	○ 8:32	HB	11:50	12:10	C8	17:00	17:15	HB	22:30	22:50
18	× 8:12	× 8:34	HB	12:20	12:40	HB	17:10	17:30			
HB	8:20	8:40	HB	12:50	13:10	HB	17:50	18:10			
71	8:50	9:11	C8	○ 13:20	○ 13:35	71	17:50	18:11			
71	× 9:07	× 9:28	HB	13:20	13:40	C8	× 17:55	× 18:10			
HB	9:25	9:45	C8	× 14:00	× 14:15	HB	18:10	18:30			
C8	○ 9:35	○ 9:50	HB	14:10	14:30	C8	× 18:30	× 18:45			
HB	9:45	10:05	HB	14:50	15:10	HB	18:55	19:15			
71	× 9:55	× 10:16	71	15:15	15:36	71	× 19:10	19:31			

18系統の土浦駅東口→つくばセンターは20分間です。

上り (×は土曜・休日運休、○は土曜・休日運転)

系統	KEK	つくばセンター	系統	KEK	つくばセンター	系統	KEK	つくばセンター	系統	KEK	つくばセンター
HA	6:19	6:55	71	10:18	10:45	71	× 15:28	× 15:55	HA	19:44	20:20
71	× 6:28	× 6:55	C8	○ 10:25	○ 10:45	HA	15:44	16:20	HA	20:34	21:10
HA	6:39	7:15	C8	× 10:55	× 11:19	HA	16:24	17:00	HA	21:04	21:40
HA	7:04	7:35	HA	10:59	11:35	HA	16:54	17:30	HA	21:44	22:20
HA	7:04	7:40	HA	11:29	12:05	71	16:58	17:25			
71	○ 7:28	○ 7:55	C8	11:50	12:10	C8	× 17:20	× 17:45			
71	× 7:28	× 8:00	HA	11:59	12:35	HA	17:24	18:00			
HA	7:34	8:10	HA	12:24	13:00	C8	× 17:50	× 18:15			
HA	8:39	9:15	HA	13:24	14:00	18	○ 17:55	○ 18:15			
C8	× 8:50	× 9:14	HA	13:54	14:30	71	× 17:58	× 18:30			
HA	8:59	9:35	C8	○ 14:20	○ 14:40	HA	18:09	18:45			
C8	○ 9:05	○ 9:25	HA	14:24	15:00	HA	18:44	19:20			
C8	× 9:25	× 9:49	71	14:28	14:55	C8	× 18:45	× 19:15			
HA	9:24	10:00	C8	× 14:50	× 15:10	HA	19:24	20:00			
HA	10:04	10:40	HA	14:54	15:30	18	× 19:30	× 19:50			

18系統のつくばセンター→土浦駅東口は22分間です。

②つくばエクスプレス

(2018年3月17日改定)

所要時間 つくば駅-秋葉原駅(快速)約45分 [1,210円]

普通回数券(11枚綴り), 昼間時回数券(12枚綴り), 土・休日回数券(14枚綴り)あり

詳細はホームページ <http://www.mir.co.jp/> をご参照下さい。

平日・下り					
秋葉原発	つくば着	秋葉原発	つくば着	秋葉原発	つくば着
* 5:08	6:06	10:13	11:06	19:20	20:13
* 5:30	6:28	○ 10:30	11:15	△ 19:30	20:20
○ 5:50	6:35	10:43	11:36	19:40	20:35
6:06	6:59	(10時~15時まで同じ)		19:50	20:43
6:17	7:12	○ 16:00	16:45	○ 20:00	20:46
○ 6:28	7:15	16:13	17:06	20:10	21:04
* 6:31	7:30	○ 16:30	17:15	20:20	21:14
6:43	7:38	16:42	17:35	○ 20:30	21:17
○ 6:57	7:42	○ 17:00	17:45	20:40	21:34
7:11	8:04	17:10	18:04	20:50	21:44
○ 7:25	8:12	17:20	18:13	○ 21:00	21:46
7:39	8:34	△ 17:30	18:20	21:15	22:09
7:52	8:48	17:40	18:35	21:29	22:22
8:03	9:01	17:50	18:44	21:41	22:36
○ 8:19	9:05	△ 18:00	18:50	○ 22:00	22:45
8:33	9:29	18:10	19:05	22:16	23:09
○ 8:48	9:35	18:20	19:14	22:30	23:23
9:00	9:54	△ 18:30	19:20	22:45	23:38
9:13	10:07	18:40	19:35	○ 23:00	23:46
○ 9:30	10:15	18:50	19:44	23:15	0:09
9:43	10:36	△ 19:00	19:51	23:30	0:23
○ 10:00	10:45	19:10	20:05	* 23:45	0:43

平日・上り							
つくば発	秋葉原着	つくば発	秋葉原着	つくば発	秋葉原着	つくば発	秋葉原着
5:08	5:59	○ 9:23	10:08	18:41	19:34	* 23:14	0:12
○ 5:26	6:11	9:28	10:23	○ 19:00	19:45		
5:32	6:25	9:51	10:44	19:02	19:55		
5:52	6:45	○ 10:11	10:56	19:11	20:04		
6:12	7:06	10:20	11:13	○ 19:30	20:16		
6:23	7:18	○ 10:41	11:26	19:32	20:25		
△ 6:38	7:28	10:50	11:43	19:41	20:35		
6:42	7:37	(10時~15時まで同じ)		○ 20:01	20:46		
6:53	7:48	○ 16:11	16:56	20:04	20:57		
7:04	8:00	16:20	17:13	○ 20:30	21:15		
7:12	8:08	16:31	17:26	20:38	21:31		
△ 7:24	8:16	16:41	17:35	20:50	21:43		
7:27	8:24	16:50	17:43	○ 21:09	21:54		
7:36	8:32	17:02	17:55	21:12	22:06		
7:43	8:38	17:11	18:04	21:26	22:19		
△ 7:53	8:44	17:22	18:15	21:40	22:33		
7:57	8:52	○ 17:42	18:27	21:52	22:45		
8:09	9:02	17:50	18:43	22:02	22:55		
△ 8:19	9:09	18:02	18:56	22:17	23:10		
8:27	9:23	18:10	19:04	22:29	23:22		
8:42	9:37	○ 18:29	19:15	* 22:42	23:40		
8:57	9:51	18:31	19:26	22:58	23:51		

土曜/休日・下り					
秋葉原発	つくば着	秋葉原発	つくば着	秋葉原発	つくば着
* 5:08	6:06	9:43	10:36	○ 22:00	22:45
* 5:30	6:28	○ 10:00	10:45	22:15	23:08
○ 5:50	6:35	10:13	11:06	22:30	23:23
6:04	6:57	○ 10:30	11:15	22:45	23:38
6:16	7:09	10:43	11:36	○ 23:00	23:46
○ 6:30	7:15	○ 11:00	11:45	23:15	0:08
6:45	7:38	11:13	12:06	23:30	0:24
○ 7:00	7:45	○ 11:30	12:15	* 23:45	0:43
7:15	8:08	11:43	12:36		
○ 7:30	8:15	(11時~19時まで同じ)			
7:45	8:38	○ 20:00	20:45		
○ 8:00	8:45	20:13	21:06		
8:15	9:08	○ 20:30	21:15		
○ 8:30	9:15	20:43	21:37		
8:45	9:38	○ 21:00	21:45		
○ 9:00	9:45	21:13	22:06		
9:13	10:06	○ 21:30	22:15		
○ 9:30	10:15	21:43	22:36		

土曜/休日・上り							
つくば発	秋葉原着	つくば発	秋葉原着	つくば発	秋葉原着	つくば発	秋葉原着
5:06	5:59	○ 7:45	8:30	10:20	11:13	○ 22:10	22:55
○ 5:26	6:11	7:50	8:43	○ 10:41	11:26	22:15	23:09
5:32	6:25	8:04	8:57	10:50	11:43	22:30	23:24
5:51	6:44	○ 8:25	9:10	○ 11:11	11:56	* 22:41	23:39
6:13	7:07	8:32	9:25	11:20	12:13	22:58	23:52
6:25	7:18	8:47	9:40	○ 11:41	12:26	* 23:14	0:12
6:38	7:32	○ 9:11	9:56	11:50	12:43		
○ 6:57	7:42	9:18	10:11	(11時~20時まで同じ)			
7:02	7:56	○ 9:41	10:26	○ 21:11	21:56		
○ 7:24	8:09	9:50	10:43	21:20	22:13		
7:28	8:21	○ 10:11	10:56	21:46	22:39		

○: 快速

△: 通勤快速(研究学園駅にも停まります。)

無印: 区間快速 * : 普通

③ 高速バス

高速バス発車時刻表 [つくば号]

(2019年10月1日運賃改定)

運賃 東京駅←つくばセンター(←筑波大学)：1,200円(交通系電子マネー利用で下りは1,150円, 上りは970円※)
 ※～2020年3月31日のキャンペーン期間は820円
 @ミッドナイトつくば号 東京駅→筑波大学：2,200円
 所要時間 東京→つくば65分～70分 つくば→上野90分(平日) つくば→東京110分(平日)
 つくば→東京80分(日祝日)

○ 6:50U	○ × 9:30U	○ × 14:30U	○ × 18:40U	× 21:30U
× 7:00U	○ × 10:00U	○ × 15:00U	○ × 19:00U	○ 21:40U
○ 7:20	○ × 10:30U	○ × 15:30U	○ 19:20U	○ × 22:00U
× 7:30U	○ × 11:00U	○ × 16:00U	× 19:30U	○ 22:20U
○ 7:40	○ × 11:30U	○ × 16:30U	○ 19:40	× 22:30U
○ × 8:00U	○ × 12:00U	○ × 17:00U	○ × 20:00U	○ 22:40U
○ 8:20U	○ × 12:30U	○ × 17:20U	○ × 20:20U	○ × 23:00U
× 8:30U	○ × 13:00U	○ × 17:40U	○ × 20:40U	○ 23:50U@
○ 8:40U	○ × 13:30U	○ × 18:00U	○ × 21:00U	× 24:00U@
○ × 9:00U	○ × 14:00U	○ × 18:20U	○ 21:20U	○ 24:10U@
			○ × 24:30U@	

○ 5:00U	× 8:40U	○ × 11:30U	○ 16:20U	○ 19:20U
○ × 5:30U	○ × 9:00U	○ × 12:00U	× 16:30U	× 19:30U
○ × 6:00U	○ 9:20	○ × 12:30U	○ 16:40	○ 19:40U
○ × 6:30U	× 9:20U	○ × 13:00U	○ × 17:00U	○ × 20:00U
○ × 7:00U	○ 9:40	○ × 13:30U	○ 17:20U	○ 20:20U
× 7:20U	× 9:40U	○ × 14:00U	× 17:30U	× 20:30U
○ 7:30U	○ × 10:00U	○ × 14:30U	○ 17:40U	○ 20:40U
× 7:40U	○ × 10:20U	○ × 15:00U	○ × 18:00U	○ × 21:00U
○ × 8:00U	○ 10:40	○ 15:20U	○ 18:20U	○ 21:20
× 8:20U	× 10:40U	× 15:30U	× 18:30U	× 21:30U
○ 8:30U	○ × 11:00U	○ 15:40U	○ 18:40U	○ 21:40U
		○ × 16:00U	○ × 19:00U	○ × 22:00U

※○：平日 ×：土日休日 @ミッドナイトつくば号。

上りは、平日のみ都営浅草駅、上野駅経由。八潮PAで下車可。

※つくば市内のバス停(上下便とも) 筑波大学, 学生会館, 筑波大学病院, つくばセンター, 竹園二丁目, 千現一丁目, 並木一丁目, 並木二丁目, 並木大橋, 下広岡

※ミッドナイトつくば号の乗車券は乗車日の1カ月前から発売。

●発売窓口：学園サービスセンター(8:30～19:00) 東京営業センター(東京駅乗車場側/6:00～発車まで)

新宿営業センター(新宿駅南口JRバス新宿営業センター内/6:00～23:00)

●電話予約：JRバス関東03-3844-0489(10:00～18:00) ●ネット予約：決済 <http://www.kousokubus.net/> (高速バスネット)

④⑤⑥ 空港直通バス

(つくばセンターバス乗り場：8番)

羽田空港←→つくばセンター

所要時間：約2時間(但し、渋滞すると3時間以上かかることもあります。) 運賃：1,900円 (2019年10月1日運賃改定)

国際線ターミナル	第2ターミナル	第1ターミナル	つくばセンター
9:20	9:30	9:35	11:20
11:10	11:20	11:25	13:10
14:45	14:55	15:00	16:45
15:55	16:05	16:10	17:55
17:45	17:55	18:00	19:45
19:05	19:15	19:20	20:45
20:45	20:55	21:00	22:15
21:55	22:05	22:10	23:25

つくばセンター	第2ターミナル	第1ターミナル	国際線ターミナル
4:40	6:17	6:22	6:29
6:00	7:47	7:52	7:59
8:00	9:57	10:02	10:09
9:30	11:27	11:32	11:39
12:30	14:07	14:12	14:19
14:30	16:07	16:12	16:19
17:30	19:07	19:12	19:19
18:35	20:02	20:07	20:14

※ 平日日祝日とも上記時刻表

※ 羽田空港乗り場：1階到着ロビーバス乗り場13番、国際線ターミナル6番

※ 上下便、つくば市内でのバス停：竹園二丁目, 千現一丁目, 並木一丁目, 並木大橋

※ 問い合わせ：029-836-1145(関東鉄道) / 03-3765-0301(京浜急行)

成田空港←→つくばセンター(土浦駅東口行) (AIRPORT LINER NATT'S)

運賃：2,300円

(2019年6月29日改定)

乗車券購入方法(成田空港行)：予約制。1カ月前から予約受付。乗車券は3日前までに購入。

予約センター電話：029-822-5345(月～土：9:00～19:00)

つくばセンター方面土浦駅東口行：成田空港1F京成カウンターにて当日販売

第3ターミナル	第2ターミナル	第1ターミナル	つくばセンター
7:30	7:35	7:40	8:40
8:30	8:35	8:40	9:35
9:30	9:35	9:40	10:50
10:30	10:35	10:40	11:50
11:30	11:35	11:40	12:35
13:00	13:05	13:10	14:20
14:40	14:45	14:50	15:45
16:00	16:05	16:10	17:20
16:50	16:55	17:00	18:00
17:50	17:55	18:00	19:10
18:50	18:55	19:00	19:55
20:30	20:35	20:40	21:50

つくばセンター	第2ターミナル	第1ターミナル	第3ターミナル
5:20	6:15	6:20	6:25
6:20	7:30	7:35	7:40
7:20	8:15	8:20	8:25
8:50	10:00	10:05	10:10
10:20	11:30	11:35	11:40
11:50	13:00	13:05	13:10
12:50	14:00	14:05	14:10
13:40	14:50	14:55	15:00
14:50	15:45	15:50	15:55
16:10	17:05	17:10	17:15
17:20	18:20	18:25	18:30
18:50	19:50	19:55	20:00

※ 平日日祝日とも上記時刻表

茨城空港←→つくばセンター

(2019年10月27日改定)

所要時間：約1時間

運賃：1,050円

問い合わせ 029-836-1145(関東鉄道)

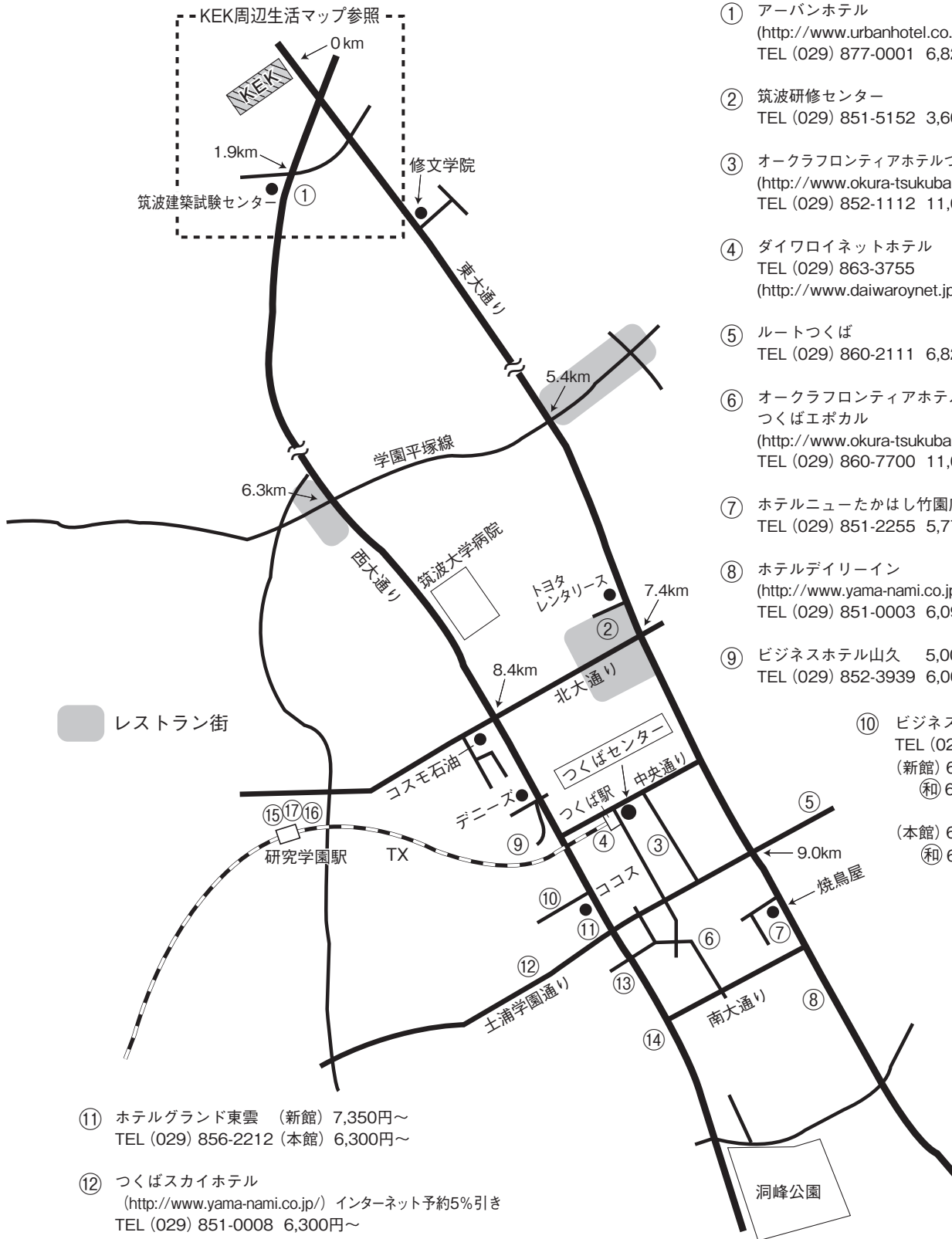
11:00	12:00
15:00(木・日のみ運行)	16:00
18:20	19:20

9:00	10:00
12:40(木・日のみ運行)	13:40
16:30	17:30

※航空便の運行状況によって、運休/時刻変更の場合があります。

つくば市内宿泊施設

(確認日:2019. 10. 23) ※ 料金は参考値です。



- ① アーバンホテル
(<http://www.urbanhotel.co.jp/uhotel.html>)
TEL (029) 877-0001 6,825円～
- ② 筑波研修センター
TEL (029) 851-5152 3,600円～
- ③ オークラフロンティアホテルつくば
(<http://www.okura-tsukuba.co.jp/>)
TEL (029) 852-1112 11,088円～
- ④ ダイワロイネットホテル
TEL (029) 863-3755
(<http://www.daiwaroynet.jp/tsukuba/>)
- ⑤ ルートつくば
TEL (029) 860-2111 6,825円～ (朝食付)
- ⑥ オークラフロンティアホテル
つくばエポカル
(<http://www.okura-tsukuba.co.jp/>)
TEL (029) 860-7700 11,088円～
- ⑦ ホテルニューたかはし竹園店
TEL (029) 851-2255 5,775円～
- ⑧ ホテルデイリーイン
(<http://www.yama-nami.co.jp/>)インターネット予約5%引き
TEL (029) 851-0003 6,090円
- ⑨ ビジネスホテル山久 5,000円～(2食付・1室2人)
TEL (029) 852-3939 6,000円～(2食付・1室1人)
- ⑩ ビジネスホテル松島
TEL (029) 856-1191
(新館) 6,500円～
(和) 6,800円 (3人～)
(風呂・2食付)
(本館) 6,000円～
(和) 6,300円(3人～)(2食付)
- ⑪ ホテルグランド東雲 (新館) 7,350円～
TEL (029) 856-2212 (本館) 6,300円～
- ⑫ つくばスカイホテル
(<http://www.yama-nami.co.jp/>) インターネット予約5%引き
TEL (029) 851-0008 6,300円～
- ⑬ ホテルつくばヒルズ学園西大通り店 (旧学園桜井ホテル)
(<https://breezbay-group.com/tsukuba-hills/>)
TEL (029) 851-3011 6,878円～
- ⑭ ビジネス旅館二の宮
TEL (029) 852-5811 5,000円～
(二人部屋のみ 2食付)
- ⑮ ホテルベストランド
(<http://www.hotel-bestland.co.jp>)
TEL (029) 863-1515
- ⑯ ホテルマークワン
(<http://www.mark-1.jp/>)
TEL (029) 875-7272
- ⑰ 東横イン
(<http://www.toyoko-inn.com/hotel/00228/>)
TEL (029) 863-1045

KEK 周辺生活マップ

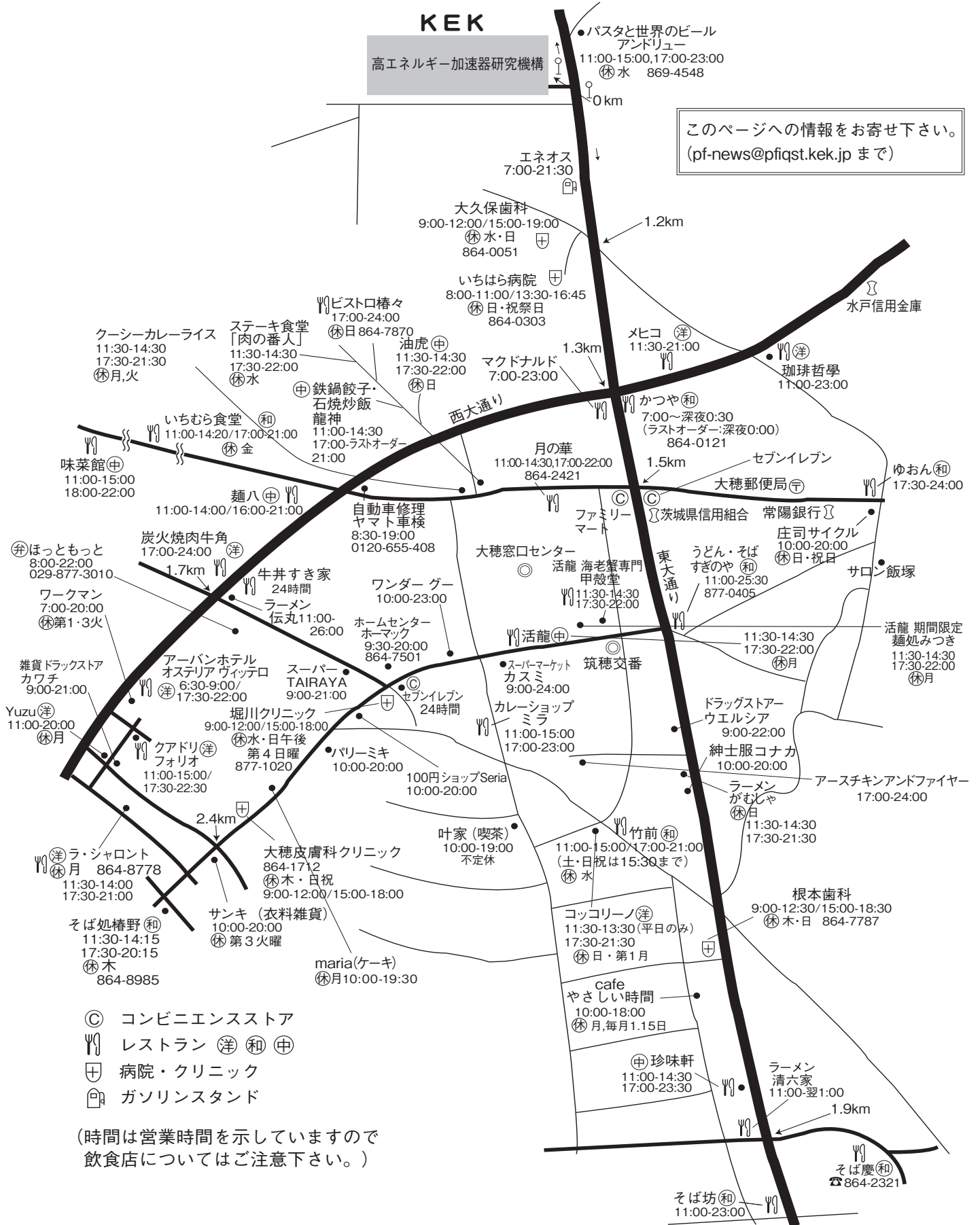
(確認日：2019. 10. 20)

放射光科学研究施設研究棟，実験準備棟より正面入口までは約 800 m

KEK

高エネルギー加速器研究機構

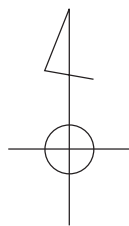
このページへの情報をお寄せ下さい。
(pf-news@pqjst.kek.jp まで)



- ◎ コンビニエンスストア
- ☎ レストラン (洋) (和) (中)
- ☎ 病院・クリニック
- ☎ ガソリンスタンド

(時間は営業時間を示していますので
飲食店についてはご注意ください。)

KEK周辺広域マップ



KEK内福利厚生施設

ユーザーの方は、これらの施設を原則として、機構の職員と同様に利用することができます。各施設の場所は裏表紙の「高エネルギー加速器研究機構平面図」をご参照下さい。

●共同利用宿泊者施設（ドミトリー）

（管理人室 TEL/FAX:029-864-5574 PHS:2920）

シングルバス・トイレ付き 2,000円

シングルバス・トイレなし 1,500円

- ドミトリーは夜の22時から朝の8時までは施錠されます。また、この時間帯は管理人が不在ですので、22時以降にドミトリーに到着される方はインフォメーションセンター（029-864-5572, PHS:3398）でドミトリーの部屋の鍵を受け取って下さい。
- 支払いはユーザーズオフィスにて、現金の他、クレジットカード、デビットカードが利用可能です。また宿泊が週末等になり、ユーザーズオフィスで支払えない場合は銀行振込または管理人による現金での領収（土、日、祝のみ）も可能です。

●図書室（研究本館1階 内線3029）

開室時間：月～金 9:00～17:00

閉室日：土、日、祝、年末年始、夏季一斉休業日
機構発行のIDカードがあれば開室時間以外でも入館可能。詳しくは下記URLをご覧ください。

(<https://www2.kek.jp/library/riyou/>)

●健康相談室（医務室）（内線 5600）

勤務時間中に発生した傷病に対して、応急処置を行うことができます。健康相談も行っていますので、希望者は事前に申し込んでください。

場 所 先端計測実験棟

開室時間 8:30～17:00（月曜日～金曜日）

●食 堂（内線 2986）

営 業 月～金 ただし祝日及び年末年始は休業

昼食 11:30～13:30 夕食 17:30～19:00

●喫茶店「風来夢（プライム）」（内線 3910）

営 業 日：毎日（年末年始、夏季休業日を除く）

営業時間：8時00分～21時00分

（朝食）8時00分～9時30分

（昼食）11時30分～15時00分

（夕食）17時30分～21時00分

上記以外は喫茶のみで営業（ただし、10時～11時30分は休憩）。

※営業時間は変更になる場合がありますので、

HP(<https://www.kek.jp/ja/ForResearcher/KEKMap/Cafe/>)にてご確認ください。

●売 店（ニューヤマザキデイリーストア）（内線 2989）

弁当、パン、食料品、軽食、菓子類、日用品、タバコ、お酒、雑誌、切手等、KEKオリジナルグッズの販売等。

営 業 月～金 8:00～21:00

土日祝 10:00～17:00（運転期間中のみ営業）

●宅配便（宅配荷物室は PF 研究棟 1 階）

PF または PF-AR 宛に宅配便で荷物を送る場合には、宅配便伝票の宛先に以下の項目を必ず記載してください。

1. PF への荷物の宛先

PF 事務室気付 BL-○○○（ステーション名）+ 受取者名

2. PF-AR への荷物の宛先

PF 事務室気付 PF-AR 共同研究棟 N○○○（ステーション名）+ 受取者名

荷物を発送した時に、以下の情報を shipping@pfiqst.kek.jp 宛てにメールでお送り下さい。

宅配便発送情報

1. 発送者氏名
2. 所属
3. KEK 内での連絡先（携帯電話等）
4. 発送日
5. 運送業者
6. PF への到着予定日時（土日祝日、夜間等の受け取りは事務室では対応できません。確実に受け取れるよう、発送伝票に配達希望日時と携帯電話番号を明記して下さい）
7. 荷物の個数
8. ステーション名およびビームタイム

注意

- 荷物の紛失や破損等が生じた場合の責任は負えませんので予めご了承ください。また、大切な物品等は受取人本人が直接宅配便業者から受け取るようにしてください。
- 土日祝日・夜間等の受け取りは、事務室では対応できません。

●自転車貸出方法（受付 [監視員室] 内線3800）

- 貸出は実験ホール入口の監視員室で行う。
- 貸出は一往復とし、最長でも半日とする。
- 使用後は所定の自転車スタンドへ戻し、鍵は監視員室へ速やかに戻す。

（PF-ARでも自転車を10台用意していますので利用したい方はビームライン担当者または運転当番 [PHS 4209] に連絡して下さい。）

ユーザーズオフィスでも自転車の貸出を行っています（約50台）。

●常陽銀行ATM

取扱時間：9:00～18:00（平日） 9:00～17:00（土）

日・祝日の取扱いはありません。常陽銀行以外の金融機関もカードのみの残高照会、引出しが可能です。

●郵便ポスト（計算機棟正面玄関前）

収集時間：10:30（平日・土曜）、10:00（休日）

●ユーザーズオフィスについては、<https://www2.kek.jp/usersoffice/> をご覧ください。

Tel : 029-879-6135, 6136 Fax : 029-879-6137

Email : usersoffice@mail.kek.jp

ビームライン担当一覧表 (2019. 11. 1)

ビームライン	光源	BL担当者
ステーション	形態 ステーション/実験装置名 (●共同利用, ○建設/立ち上げ中, ◇所外, ☆教育用BL, ★UG運営ST)	担当者 担当者 (所外)
BL-1	U	松垣
BL-1A	● タンパク質結晶構造解析ステーション	松垣
BL-2	U	堀場
BL-2A/B	● MUSASHI: 表面・界面光電子分光, 広エネルギー帯域軟X線分光	堀場
BL-3	U (A) / B M (B, C)	中尾
BL-3A	● 極限条件下精密単結晶X線回折ステーション	中尾
BL-3B	●★ VUV 24m球面回折格子分光器 (SGM)	間瀬 枝元 (立教大) 吉信 (東大)
BL-3C	● X線光学素子評価/白色磁気回折ステーション	平野
BL-4	B M	中尾
BL-4A	●★ 蛍光X線分析/マイクロビーム分析	丹羽 高橋 (東大)
BL-4B2	●★ 多連装粉末X線回折装置	中尾 植草 (東工大)
BL-4C	● 精密単結晶X線回折ステーション	中尾
BL-5	M P W	松垣
BL-5A	● タンパク質結晶構造解析ステーション	松垣
BL-6	B M	五十嵐
BL-6A	● X線小角散乱ステーション	五十嵐
BL-6C	●★ X線回折/散乱実験ステーション	中尾 八方 (広島市大)
BL-7	B M	雨宮 (岡林: 東大)
BL-7A (東大・スペクトル)	◇● 軟X線分光 (XAFS, XPS) ステーション	雨宮 岡林 (東大)
BL-7C	● 汎用X線ステーション	杉山
BL-8	B M	佐賀山
BL-8A	● 多目的極限条件下ワンセンベルグカメラ	佐賀山
BL-8B	● 多目的極限条件下ワンセンベルグカメラ	佐賀山
BL-9	B M	阿部
BL-9A	● XAFS (高強度) 実験ステーション	阿部
BL-9C	● XAFS (その場) 実験ステーション	阿部
BL-10	B M	清水
BL-10A	●★ 垂直型四軸X線回折装置	熊井 吉朝 (熊本大)
BL-10C	● X線小角散乱ステーション	清水
BL-11	B M	北島
BL-11A	● 軟X線斜入射回折格子分光ステーション	北島
BL-11B	● 軟X線2結晶分光ステーション	北島
BL-11D	● 軟X線光学素子評価装置用ステーション	間瀬
BL-12	B M	仁谷
BL-12C	● XAFS (ハイスループット) 実験ステーション	仁谷
BL-13	U	間瀬
BL-13A/B	● 表面化学研究用真空紫外軟X線分光ステーション	間瀬
BL-14	V W	岸本
BL-14A	● 単結晶構造解析・検出器開発ステーション	岸本
BL-14B	● 精密X線光学実験ステーション	平野
BL-14C	● X線イメージングおよび汎用X線実験ステーション	兵藤
BL-15	U	五十嵐
BL-15A1	● XAFS (セミマイクロビーム) 実験ステーション	武市
BL-15A2	● 高輝度X線小角散乱実験ステーション	清水
BL-16	U	雨宮
BL-16A	● 可変偏光軟X線分光ステーション	雨宮

BL-17		U	山田
BL-17A	●	タンパク質結晶構造解析ステーション	山田
BL-18		B M	熊井
BL-18B(インド・DST)	◇●	Multipurpose Monochromatic Hard X-ray Station	熊井 DAS, Gangadhar (JNCASR)
BL-18C	●★	超高压下粉末X線回折計	船守 鍵 (東大)
BL-19		U	小野
BL-19A/B	●	軟X線顕微鏡/分光実験ステーション	武市
BL-20		B M	足立 (純)
BL-20A	☆●	3 m直入射型分光器	足立 (純) 北島 (東工大)
BL-20B	●	白色・単色 X線トポグラフィ/X線回折実験ステーション	杉山
BL-27		B M	宇佐美
BL-27A	●★	放射性試料用軟X線実験ステーション	宇佐美 横谷 (量研機構)
BL-27B	●★	放射性試料用X線実験ステーション	宇佐美 岡本 (原研機構)
BL-28		H U	堀場
BL-28A/B	●	可変偏光 VUV・SX 不等間隔平面回折格子分光器 高分解能角度分解光電子分光実験ステーション	堀場
PF-AR			
AR-NE1		E M P W	船守
AR-NE1A	●	レーザー加熱超高压実験ステーション	船守
AR-NE3		U	山田
AR-NE3A	●	タンパク質結晶構造解析ステーション	山田
AR-NE5		B M	船守
AR-NE5C	●	高温高压実験ステーション /MAX80	船守
AR-NE7		B M	兵藤
AR-NE7A	●	X線イメージングおよび高温高压実験ステーション	兵藤
AR-NW2		U	丹羽
AR-NW2A	●	時間分解 DXAFS / X線回折実験ステーション	丹羽
AR-NW10		B M	仁谷
AR-NW10A	●	XAFS (高エネルギー) 実験ステーション	仁谷
AR-NW12		U	引田
AR-NW12A	●	タンパク質結晶構造解析ステーション	引田
AR-NW14		U	野澤
AR-NW14A	●	ピコ秒時間分解 X線回折・散乱・分光	野澤
低速陽電子			望月
SPF-A3	●	全反射高速陽電子回折 (TRHEPD) ステーション	望月
SPF-A4	○	低速陽電子回折 (LEPD) ステーション	望月
SPF-B1	●	汎用低速陽電子実験ステーション	望月
SPF-B2	●	ポジトロニウム飛行時間測定ステーション	望月

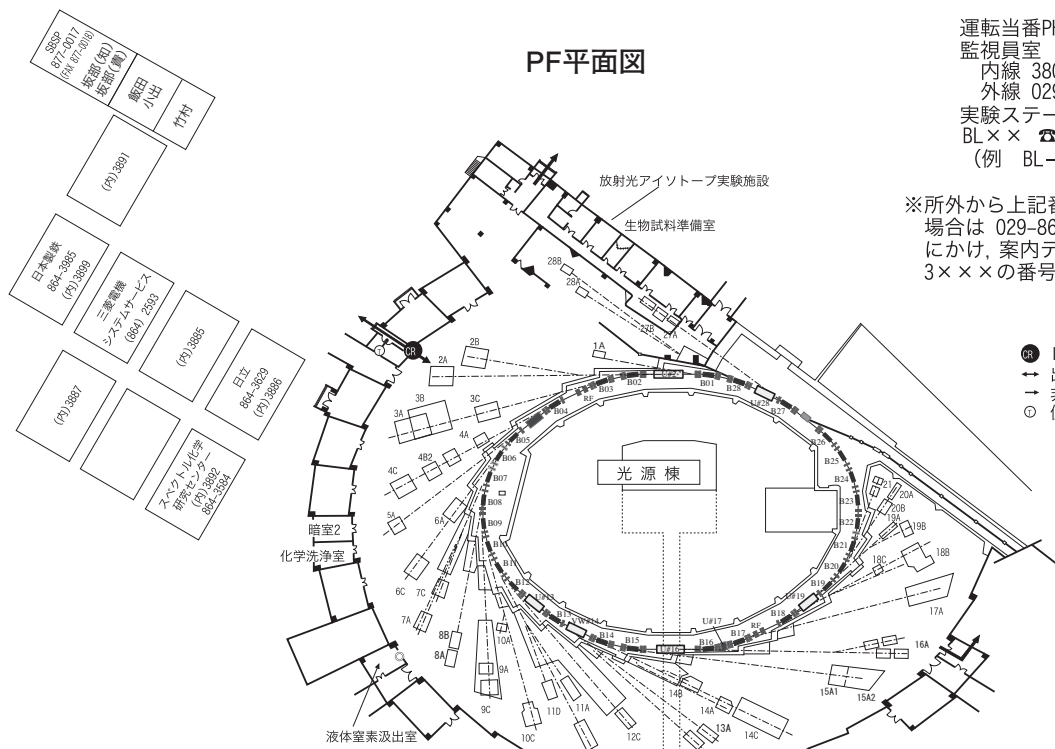
【UG 運営装置】 AR-NE7A 高温高压実験装置 (MAX-III) 久保友明 (九州大)

【所外ビームライン】 BL-7A 東大 RCS 岡林 潤 (東大) jun@chem.s.u-tokyo.ac.jp
 BL-18B インド JNCASR DAS, Gangadhar 029-879-6237 [2628] rnrsgangadhar@gmail.com

PF平面図

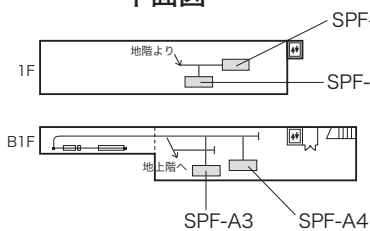
運転当番PHS 4209
 監視員室
 内線 3800
 外線 029-864-5778
 実験ステーション
 BL×× ☎38××
 (例 BL-6 ☎3806)

※所外から上記番号にアクセスする
 場合は 029-864-5200 (代表番号)
 についで、案内テーブルの後に4×××、
 3×××の番号を押して下さい。



- IDカードリーダー
- 出入口
- ⇄ 非常口
- 便所

低速陽電子実験施設 平面図



電源棟
 ☎3881
 原田(健) 山口(孝)
 東 佐々木
 尾崎
 ☎3880 ☎5630

実験準備室

実験準備室7 ☎5709	実験準備室5 ☎3874 図面室 ☎5708	実験準備室3 仮眠室 (男子) ☎3873	実験準備室1 談話室 2 ☎3858
		実験準備室4 ☎5650	実験準備室2 日本アクセス ☎3872

0 25M

PF-AR平面図

PF-AR共同 研究棟

深谷、福本、
 高木(社)、一柳、
 阿部(裕)
 6185, 6186
 Fax 6187

PF-ARコンテナ

北コンテナ	南コンテナ
男子仮眠室/ 物品倉庫 ☎5797	ユーザー控室/ 打ち合わせ室 ☎3322

PF-AR実験準備棟

真空装置 調整室 ☎3846	結晶加工室 ☎3846	臨床準備室/ 打ち合わせ室 ☎3847 ☎864-5796 FAX兼用	試料準備室 ☎3847 暗室 倉庫
----------------------	----------------	---	----------------------------

