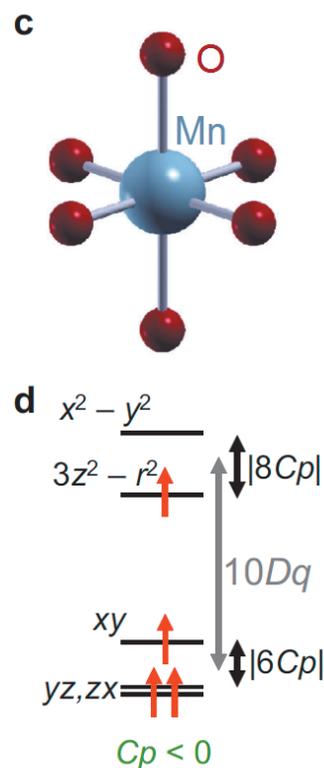
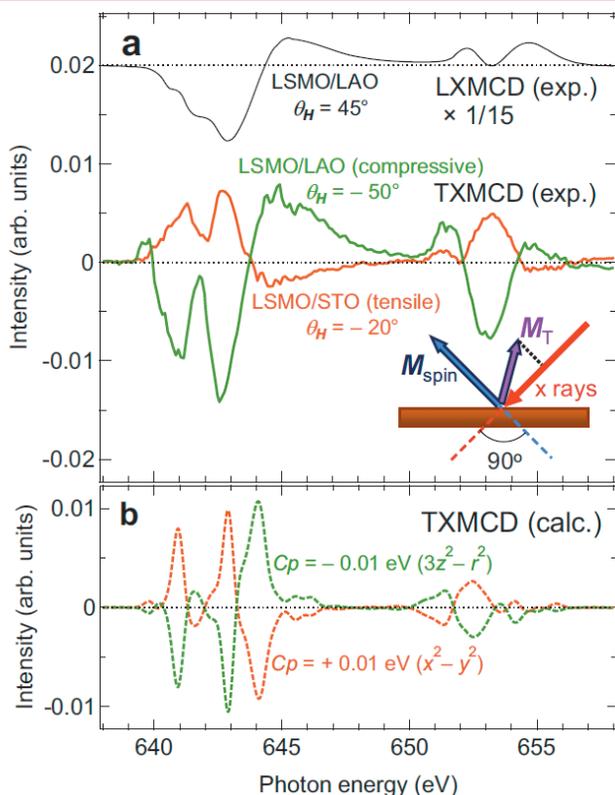
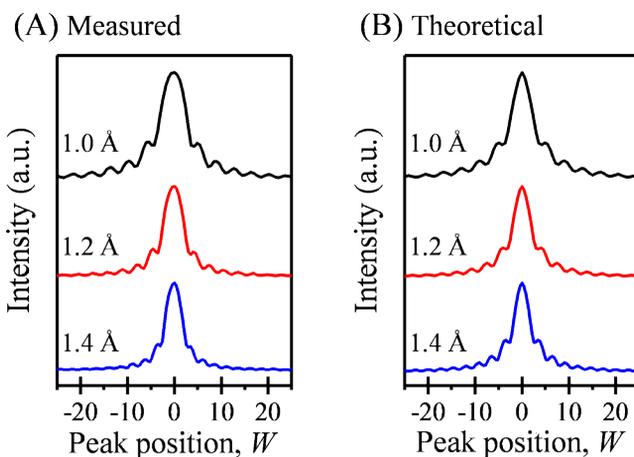
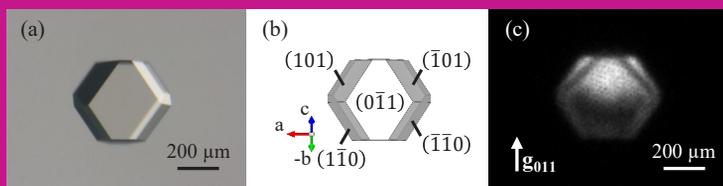


- タンパク質結晶におけるX線の動力的回折効果の観測
- $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ 薄膜における基板応力により誘起された異方的スピン分布の角度依存X線磁気円二色性による観測



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	5
放射光科学第一、第二研究系の現状	雨宮 健太	7
最近の研究から		
タンパク質結晶における X 線の動力的回折効果の観測 Observation of X-ray Dynamical Diffraction in Protein Crystals 鈴木 凌, 小泉晴比古, 平野 馨一, 熊坂 崇, 小島 謙一, 橘 勝		8
La _{1-x} Sr _x MnO ₃ 薄膜における基板応力により誘起された異方的スピン分布の角度依存 X 線磁気円二色性による観測 Strain-induced Anisotropic Spin-density Distribution in La _{1-x} Sr _x MnO ₃ Thin Films Revealed by Angle-dependent X-ray Magnetic Circular Dichroism 芝田 悟朗, 北村 未歩, 蓑原 誠人, 吉松 公平, 門野 利治, 石上 啓介, 原野 貴幸, 高橋 文雄, 坂本 祥哉, 野中 洋亮, 池田 啓祐, 池 震棟, 古瀬 充穂, 淵野修一郎, 岡野 眞, 藤平 潤一, 内田 公, 渡邊 和訓, 藤平 秀幸, 藤平 誠一, 田中 新, 組頭 広志, 小出 常晴, 藤森 淳		13
プレスリリース		
染色体の構造変換を司るタンパク質の構造を解明		19
自発的に折りたたまれるポリマー材料の開発に成功 - タンパク質の機能を模倣する新素材への応用に期待 -		19
鉄系高温超伝導体における新奇な磁性と超伝導の共存の観測に成功		20
薬剤耐性の原因「薬剤汲み出しタンパク質」の排出メカニズムを解明～多剤排出トランスポーター MdfA の分子機構～		20
研究会等の開催・参加報告		
XAFS2018 に参加して	加藤 盛也	21
XRM2018 に参加して	渡邊 稔樹	22
ICPA-18 参加記	前川 雅樹	23
The 2nd AOFSSR School に参加して	鈴木 雄太	25
ユーザーとスタッフの広場		
PF 滞在記		
AR-NW10A を利用したメタン活性化触媒の作用機構に関する研究	西川 祐太	27
中小オーナー企業の経営者となって	小池祐一郎	28
大柳 宏之氏, XAFS2018 にてエド・スターン賞を受賞		29
産業利用促進運転日実施報告	君島 堅一	29
PF トピックス一覧 (8 月～10 月)		30
PF-UA だより		
SAXS-UG 紹介	櫻井 伸一, 上久保裕生, 山本 勝宏, 奥田 浩司	31
人 事		
人事異動・新人紹介		35
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		36
お知らせ		
2018 年度量子ビームサイエンスフェスタ (第 10 回 MLF シンポジウム / 第 36 回 PF シンポジウム) 開催のお知らせ	小野 寛太, 横尾 哲也	38
PF 研究会「多様な物質・生命科学研究に広がる小角散乱?多(他)分野の小角散乱を学ぼう!」 開催のお知らせ	五十嵐教之, 清水 伸隆	38
PF 研究会「高繰り返し極短パルス光源の未来」開催のお知らせ	足立 純一	38
2018 年度タンパク質結晶構造解析初心者講習会開催のご案内	加藤 龍一, 松垣 直宏	39
Nanotech CUPAL 第 8 回放射光利用技術入門コース XAFS 研修会開催のお知らせ		39
2019 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	40
2019 年度前期 フォトン・ファクトリー研究会の募集	小杉 信博	40
予定一覧		41
運転スケジュール (Dec. 2018 ~ Mar. 2019)		42
掲示板		
第 104 回物質構造科学研究所運営会議議事次第		43
物構研談話会		43
編集委員会だより		44
「PF ニュース」からのお知らせ		44
投稿のお願い		44
巻末情報		45
表紙説明	(左上) 高品質なグルコースイソメラーゼ結晶の (a) 光学顕微鏡像, (b) 結晶外形の模式図, (c) デジタル (CCD) X 線トポグラフィ像 (上右) (A) 実験で観測されたロッキングカーブ回折強度曲線と (B) 動力的 X 線回折理論から予測される回折強度曲線 (「タンパク質結晶における X 線の動力的回折効果の観測」より) (下) Transverse XMCD 法により観測した La _{1-x} Sr _x MnO ₃ 薄膜中の強磁性 Mn 3d 電子の軌道占有状態 (「La _{1-x} Sr _x MnO ₃ 薄膜における基板応力により誘起された異方的スピン分布の角度依存 X 線磁気円二色性による観測」より)	

放射光科学第一研究系の船守展正です。『施設だより』を隔号で担当させて頂くことになりました。よろしくお願いたします。

放射光実験施設フォトンファクトリーを組織として再定義することが必要であるとの小杉所長の分析がスタッフに初めて示されたのは、新体制がスタートして間もない2018年4月4日の所長懇談会でした。この所長懇談会では、物構研教授会議の設置に関する提案もありました。物構研のような組織では、トップダウンとボトムアップの双方向の議論を上手く融合させて意思決定を行うことが大切ですが、教授会議はその機能を担うものと期待されます。今回の『施設だより』では、教授会議での議論も踏まえて具体化が進められている実験施設の再定義について、少し詳しくご報告させていただきます。

まずは、物構研を改組して実験施設を設置する目的ですが、突き詰めれば、「放射光科学の発展、フォトンファクトリーの将来計画の実現に向けて、組織基盤を強固にすること」に集約されるかと思えます（PF Newsの直近の2号に掲載されている所長の巻頭言もご参照ください）。現在、かなり厳しい予算状況となっていますが、この状況を打破するためには、組織基盤を強固にすることで研究教育上の優れた成果を創出し、フォトンファクトリーの存在意義を高めることが必須です。厳しい予算状況の中で、ユーザーの皆さんとスタッフの努力により、コストに比して極めて優れた成果を創出し続けていることは疑いの余地がありませんが、ディビジョンメーカーからの十分な支持を得られていないとの認識です。

次に、所長懇談会後の各種会議での重要な議論と決定について、記録の意味も込めてご紹介します。5月14日の2018年度第3回物構研運営責任者会議（物構研内の意思決定会議）では、所長より、放射光実験施設（および低速陽電子実験施設）の設置に向けた具体的な検討を開始すること、また、実験施設長予定者を船守教授として副所長の足立教授とともに検討を主導すること、の2点が提案され、了承されました。5月31日には第101回物構研運営会議（物構研としての最高議決会議）が開催され、所長報告の中で、実験施設の設置に向けた検討を進めることについての説明がありました。9月13日の第103回物構研運営会議では、物構研組織の改組と人事計画についての審議が行われました。この会議では、放射光科学第一研究系・第二研究系と並列させる形で、放射光実験施設および低速陽電子実験施設を設置すること、また、放射光実験施設で重要な役割を担って頂く2名の教授の公募を実施することが了承されました。さらに、前述の物構研教授会議等での審議を経て、10月2日の2018年度第13回物構研運営責任者会議では、研究系と実験施設の所掌業務を含む物構研組織規則改正案と実験施設の英語名称案が了承されました。現在、審議の

場を機構の会議に移し、2019年4月1日付での実験施設の設置に向けた準備が進められています。

来年度以降のフォトンファクトリーは、物構研の放射光科学第一研究系・第二研究系と放射光実験施設、加速器施設の加速器第六研究系（光源加速器）を中心に、加速器第五研究系（入射器）や放射線科学センターを始めとする加速器施設と共通基盤施設、管理局の協力のもとに運営されます。加速器施設も改組を予定しており、現在の加速器第七研究系は第六研究系に名称が変更になる見込みです。そうした運営体制の中で、放射光ビームの生成については加速器第六研究系と実験施設が、放射光ビームの利用については放射光科学一研究系・第二研究系と実験施設が担当することになります。実験施設には、運営グループ、基盤技術グループ、測定装置グループを置くことを検討しています。放射光科学一研究系・第二研究系の体制については、研究主幹の雨宮教授と千田教授、副所長の足立教授が主導する形で検討が進められています。ビームラインについては、研究分野重視の研究系と研究手法重視の実験施設が協力して運営にあたる予定です（改組に伴うビームライン担当者の変更は予定していません）。

放射光実験施設の英語名称は、正式に Photon Factory となる予定です。本稿の書き出しを「放射光実験施設フォトンファクトリー」とした理由もここにあります。今回の改組により、フォトンファクトリーには、組織の英語名称としての位置付けが追加されますが、ユーザーの皆さんとスタッフの研究教育活動の場としての位置付けには全く変更ありません。最後に、個人的な文章の公開に羞恥を感じますが、関連したことでありますので、以下を原文のまま引用させて頂きたいと思えます。「PFとは、単なる施設を指す言葉ではなく、スタッフ・ユーザーも含んだ集合体を指す言葉だと思います。その意味で、私は、すでにPFの一部ですが、スタッフとして受け入れて頂くことで、育ててもらったPFに恩返しをしたい、また、恩返しをできると考えています。」これは、かつて人事面接のために準備した（けれども、使っていない）スライドに残る文章です。

現在、「放射光科学の発展、フォトンファクトリーの将来計画の実現に向けて、組織基盤を強固にすること」のための具体的な方策について検討を進めています。次回の『施設だより』（PF News 2019年5月号, Vol. 37, No. 1を予定）でご紹介したいと考えています。

入射器の現状

加速器第五研究系研究主幹 古川和朗
(2018年11月5日付け)

概要

夏の停止期間中の保守・建設・試験作業を終え、10月22日から入射器の立ち上げ作業を進めており、新規・改造装置の動作試験も進んでいる。上流部は装置の調整が先に進んでおり、熱電子銃、RF電子銃双方のビームの調整を開始したところである。秋に予定している放射光施設、PFとPF-AR、に向けた入射ビームを用意できる目処を付けることができた。夏前のSuperKEKBフェーズ2・コミッションングについては、入射器からもほぼ予定されたビーム品質の入射を達成することができたが、来年開始するフェーズ3・コミッションングに向けては、必要とされる入射ビームはまだ完全には実現できておらず、秋の放射光施設入射と並行して調整する予定である。同時入射機構を利用することにより、放射光入射用のビームと試験開発用のビームを並行して加速し、特にビームの低エミッタンス化と安定化を図るために、さまざまな試験・検討が進められる予定である。また、PF-AR向けの5 GeVの電子入射の試験も進め、電力消費量の削減を狙うことになる。

複数電子銃の利用

今回の改造においては、熱電子銃とRF電子銃を高速で切り替え、同時入射を実現するためのパルス電磁石が追加設置された。これらの電子銃の整備については、2010年からの入射器改造における課題の一つであったが、SuperKEKBのフェーズ3・コミッションングを控えて一区切りを迎えたことになる。

2010年から2011年にかけては、まずSuperKEKB向けの改造と、さらには予定していなかった震災復旧を、放射光入射と独立に進めるために、仮の熱電子銃をダンピング・リング接続部の下流側に建設した。当時はPF-ARの入射エネルギーが3 GeVであったので、PFの2.5 GeV入射と併せて、この仮電子銃と入射器の下流部8分の3を暫定復旧することにより、震災から3ヶ月後には入射を再開することができた。この仮電子銃を用いることによって、入射

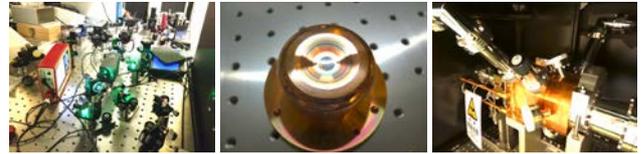


図1 RF電子銃向けに開発された、高強度レーザーシステムの試験時の最終段、高安定光陰極、及び高電界擬似進行波型空洞

器の上流8分の5の震災復旧・改造やビーム開発については、放射光施設入射とは独立に行えることとなった。仮電子銃は、PF-ARの直接入射路が完成し、6.5 GeVの入射が始まる2017年まで使用された。

SuperKEKBでの衝突性能、ルミノシティをKEKBの40倍に高めるためのナノビーム衝突方式を実現するためには、電子・陽電子入射ビームについても4倍強の電流増強と同時に、横方向と縦方向のビーム拡がり（エミッタンスとエネルギー拡がり）の大幅な縮小が重要な目標となっている。電子の入射には、新しいタイプのRF電子銃の開発の必要があり、2通りの方式の光陰極RF電子銃の開発を開始したが、後にひとつにまとめることになった。高強度レーザー、光陰極、空洞のそれぞれに新しい技術を導入し（図1）、最上流部にRF電子銃の建設を開始した。

RF電子銃のレーザーとしては、Yb:YAGファイバー発振器とファイバー増幅器、Yb:YAGまたはNd:YAGの固体増幅器を組み合わせ、エネルギー幅の小さいビームを作るための矩形パルスの生成を目指している。光陰極としてはイリジウム・セリウム合金が非常に安定した中程度の量子効率を持つことを見出し、空洞としては大きな電荷を空間電荷効果の影響を避けつつ高電界で加速するために擬似進行波型空洞が有効であることがわかっている。

陽電子を生成するための一次電子としては、低エミッタンスは必要ないが、電子の3倍近い電荷のビームを必要とするため、現在のところKEKBで使用された熱電子銃とバンチング系を可能な限り再利用することとしている。入

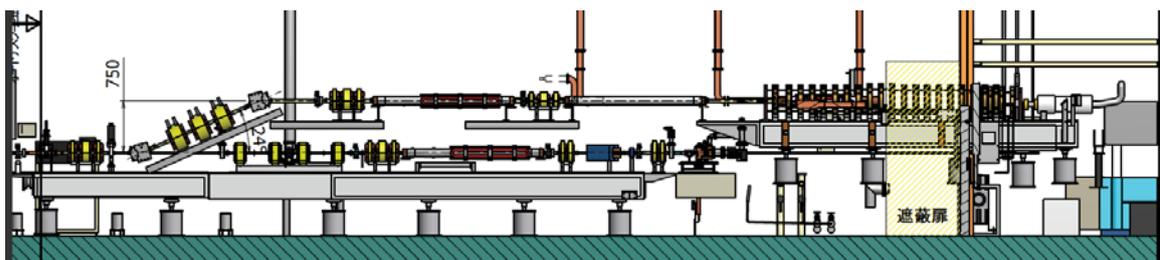


図2 下段の低エミッタンスRF電子銃と、上段の大電流熱電子銃の再配置・構成

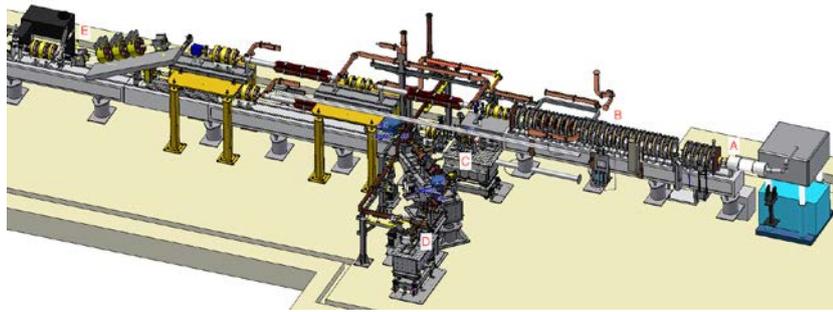


図3 入射部の構成。A: 上段熱電子銃, B: バンチング・セクション, C: 下段 RF 電子銃, D: 第二 RF 電子銃, E: 24 度合流部。

射器のトンネルとクライストロン・ギャラリーの大きさの制限があるため、RF 電子銃のビームラインの 750 mm 上部に熱電子銃のバンチング系を配置することにして、24 度の合流ビームラインと共に 2015 年に建設を行った (図 2)。

SuperKEKB の電子入射には下段の RF 電子銃を使用し、PF と PF-AR の電子入射、及び SuperKEKB 向けの陽電子生成には上段の熱電子銃を使用する。SuperKEKB のフェーズ 1 及びフェーズ 2・コミッションングにおいては、電子入射の条件が厳しくなかったため、切り替え速度等を考え、実際には熱電子銃を使用することも多かった。

2017 年に 5 ヶ月の連続停止期間を割り当てられたため、入射器の下流部向けに既に製造していた 64 台のパルス電磁石を設置することが可能となり、それらは期待したとおりに動作した。さらに、その結果を用いて 2018 年の夏の建設期間には、上流部にパルス電磁石を増設し、2 つの電子銃の合流部の偏向電磁石やビーム光学マッチング用の収束電磁石がパルス化されたため、他の装置や安全システムの改造とも併せて、50 Hz のパルス毎に電子銃を切り替えることが可能となった。これらによって、入射器全体の同時入射の準備がほぼ整った。また、2017 年には第二 RF 電子銃も設置し、信頼性の向上を図っている (図 3, 4)。

2008 年から 2010 年までは、PF、KEKB HER、LER の 3 リングへの同時入射を、当時のビーム品質仕様に従って行うことができた。来年から開始する SuperKEKB フェーズ 3 コミッションングにおいては、格段に厳しいビーム要求仕様に合わせて、パルス毎に精度の高いビーム制御を行いながら、SuperKEKB と放射光の 4 つの蓄積リング、さらにはダンピング・リングへのビームの供給を行うことになる。



図4 入射部の現在の様子。合流部近辺の水色の電磁石が最近設置されたパルス電磁石。

入射器のエミッタンス管理

入射器の SuperKEKB に向けた改造においては、電子・陽電子の 4 倍強の電流増強と横方向と縦方向のビーム拡がりの縮小 (エミッタンス約 20 mm・mrad とエネルギー拡がり 0.07%) が重要な目標となっている。それぞれの間には強い関係があり、単純にバンチあたりの電流を増やすとビーム拡がりは急速に悪化してしまう。

エミッタンス悪化の一つの原因は加速管中に発生する横方向の電場が主要要因となる。例えば、図 5a のように、集束電磁石の中心からずれたビームが通ると、四重極磁場によりビーム軌道が横方向に曲がり、さらにビームが加速管の中心からずれると、ビームバンチの先頭が横方向の航跡電場を誘起し、バンチの後方を曲げてしまう。その結果投影したビームバンチの大きさが大きくなってしまふ。図 5b のシミュレーション結果が示すようにバンチがバナナのような形状を持つことになる。これからわかるように加速器装置が精度良く並べてあること (アライメント) が重要になる。

図 6a は加速器装置のアライメントによって、エミッタンスがどの程度悪化するか見たプロットで、横軸は装置がランダムにずれていた時のずれの標準偏差で、縦軸が 100 通りの計算をした時の悪化したエミッタンスの平均と標準

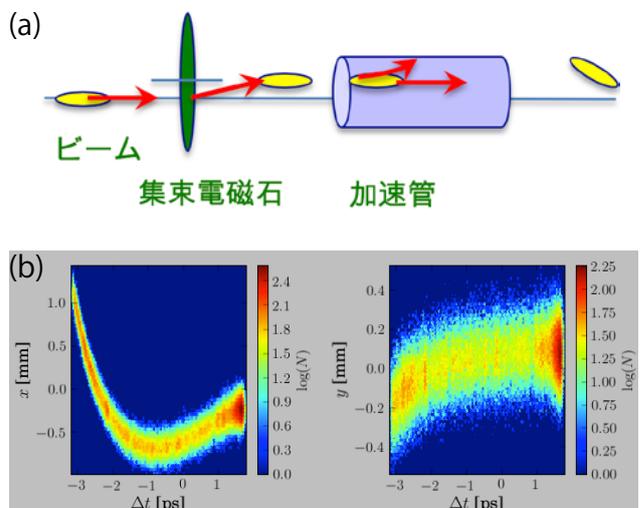


図5 (a) エミッタンスの悪化。装置の設置位置がずれた場合のビーム (黄色) の変形。(b) シミュレーション例。ビームバンチの縦方向 (横軸) と水平・垂直方向 (縦軸) の拡がり。

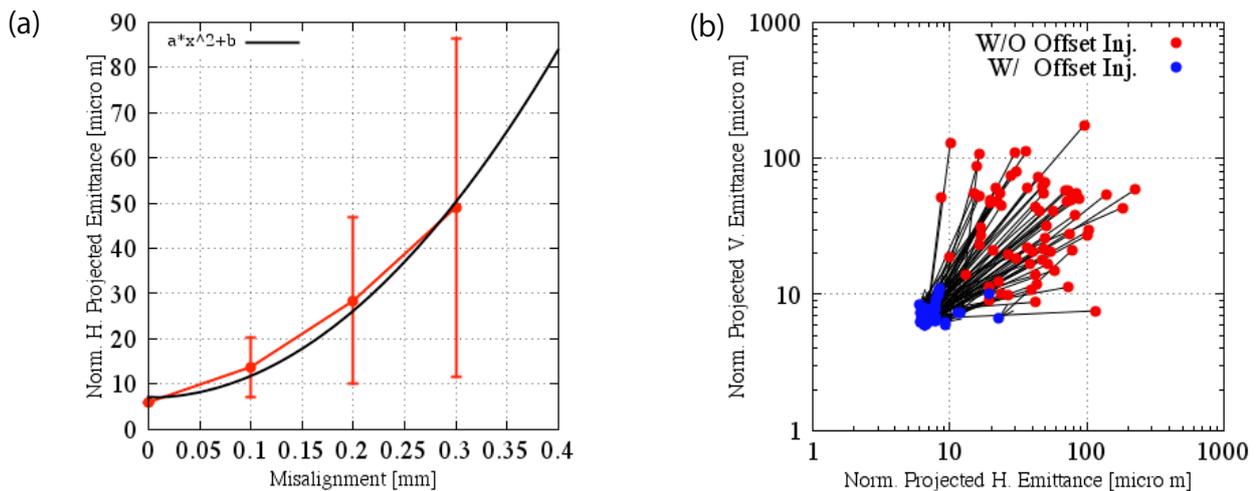


図6 (a) アライメントを悪化させた場合のエミッタンスの悪化。100 とおりの場合の標準偏差。(b) 悪化したエミッタンス (赤点) を初期のビーム位置と角度を調整して回復した例 (青点)。

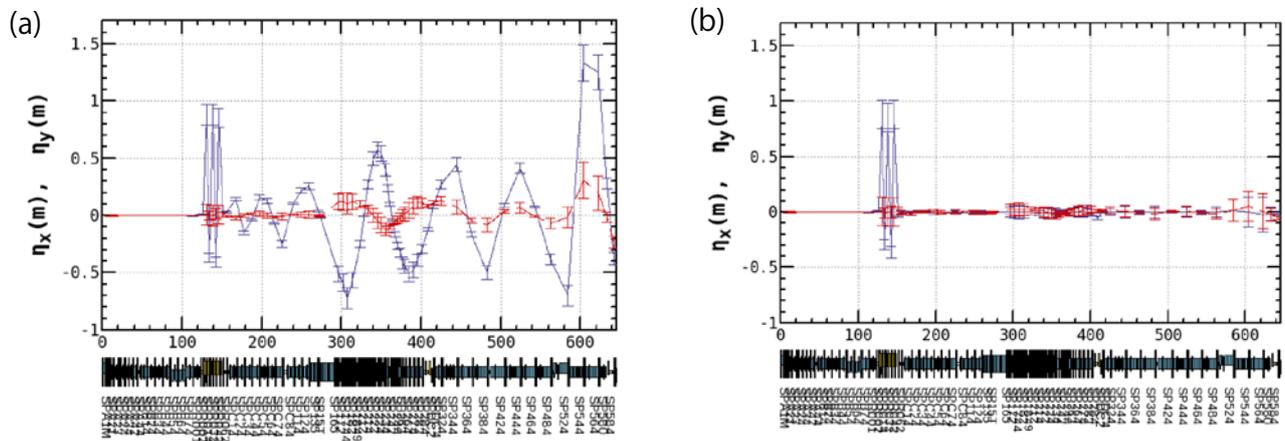


図7 (a) J-ARC 部以降の水平 (青) と垂直 (赤) 方向の分散関数の漏れ。(b) J-ARC 部の収束電磁石の調整により、分散関数を最小化することに成功した。

偏差である。アライメントの悪化によりエミッタンスが急激に悪化することがわかる。35 年前に最初に装置が設置される前に 0.1 mm の精度で設置する仕組みが構築されたが、2011 年の大震災によって、場所によっては装置が 10 mm 以上動いてしまい、回復は容易ではなかった。

もしも、アライメント精度 0.1 mm を達成することができれば、目標とするエミッタンスが実現できそうであるが、現実にはその精度の達成は困難と思われた。しかし、ずれが大きくなると、二次の効果が小さければ、適当なビーム軌道を作ると誘起航跡電場の効果を上下・左右方向に打ち消させることができる。そのような軌道を見つける方法の一つとして、最初のビーム位置と角度を調整することが考えられる。図 6b はそのような考えを適用して、アライメント精度 0.3 mm の場合 100 とおりに対して、悪化したエミッタンスを回復してみた例である。図 6a, 6b は単純化したシミュレーション結果であるが、もう少し現実的なシミュレーションにより、入射器全体のアライメント精度が 0.3 mm で、10 m 程度の短い区間で 0.1 mm が達成されていると、軌道制御により目標のエミッタンスを得ること

が可能であることがわかってきた。

夏のビーム試験においては、この前段階として、入射器に沿ったビームの光学特性の調査が行われた。その結果、ビームの分散関数が設計上ゼロである場所において、有限の値になっている場所が複数見つかった。エネルギー広がりエミッタンスの増大に見えてしまうので、修正することが望ましい。

例えば、エネルギー 1.5 GeV の J-ARC 部の後で、図 7a のように分散関数の漏れが見つかった。収束電磁石と偏向電磁石の磁場が想定した値からずれているための問題と考えられたため、分散関数の測定値から収束電磁石の磁場がずれていると考えた場合のずれの大きさを求め、補正を行ったところ、図 7b のように分散関数を最小化することができた。同様の調整を、ダンピング・リングから入射器への接続部や、入射器からメイン・リングへのビーム輸送路においても行った。

今後は、このようなビーム光学関数の管理を精度高く行うことによって、適切なビームを入射する必要があると考えている。

夏期停止期間中の作業状況

PFリングは7月6日(金)9:00、PF-ARは6月29日(金)9:00に運転を停止して、夏期の停止期間となった。

PFリングにおける今夏の重要な作業は、BL-19の増強計画に伴うアンジュレータの更新作業であった。これまで使用していた古いアンジュレータ(R#19)を撤去して、新しいアンジュレータ(U#19)と入れ替えを行うとともに、U#19を設置するB18-B19間直線部の床補強工事を行った。

運転停止後ただちに、R#19撤去のための真空パージ作業を行なった。さらに、上流下流のコンポーネントの切り離し、配線撤去などを行なった。7月18日～19日にR#19をリングトンネルから地下機械室のプラットフォームへ移動し、7月20日にR#19を支えていた補強用H鋼の撤去を行った。図1にR#19撤去前後のB18-B19間直線部の様子を示す。プラットフォームへ移動したR#19の磁



図2 内面にNEGコーティングされたU#19用の新しい真空チャンバー

石の放射線量を計測したところ問題ないレベルであることがわかり、磁石の取り外し作業を行った。磁石はドラム缶に入れてしばらく保管した後、再度線量を計測し問題ないことを確認して廃棄した。7月31日にU#19用の新しい真空チャンバーが納品され、リング北搬入口から地下機械室へ搬入し、真空引き等の作業を行った。図2に新しい真空チャンバーを示す。この真空チャンバーは内面に排気作用を持つ非蒸発型ゲッター(NEG)コーティングを施したチャンバーで、PFリングでは初めてインストールされることになる。



図1 R#19撤去前後のB18-B19間直線部の様子を示す。R#19設置のために補強していたH鋼も撤去され、B18-B19間のトンネル内側がフラットな状態になった。



図3 PF-AR北棟挿入光源準備室で磁場調整中の新しいアンジュレータ(U#19)



図4 U#19のPFリング加速器室内搬入作業の様子を示す。(上左図)リング内側を時計回りに移動、(上右図)B18-19間直線部前で真空チャンバーの設置、(下左図)ビーム軌道に合わせるように押し込む、(下右図)U#19の真空チャンバーをリング側のチャンバーに接続。

新しいアンジュレータ U#19 の PF-AR 北棟挿入光源準備室における磁場調整 (図 3) が終了し、9 月 25 日の週に PF リングへの搬入を実施した。U#19 は PF リング北のシールド扉から加速器室内へ、さらに B27-B28 直線部 (U#28 はあらかじめ移動してあった) からリング内側に引き込まれ、時計回りにリング内を移動、B18-B19 間の直線部まで運ばれた。リング内側で真空チャンバーを磁石列のギャップに挟み込み固定、直線部に押し込まれた。その後、アンジュレータの磁石の中心とビーム軌道をあわせるための精

密アライメントおよびリング真空チャンバーとの接続作業が実施された。一連の作業の様子を図 4 に示す。同時に、U#28 を所定の位置に戻す作業も行われた。

U#19 更新作業以外にも、PF リングおよび PF-AR において、電磁石、RF、真空、基幹チャンネル、モニター・制御などの定期的な保守維持点検作業などが行われた。

秋の運転再開については、PF リングが 11 月 9 日 (金) 9:00、PF-AR が 11 月 16 日 (金) 9:00 を予定している。

運転，共同利用関係

PF および PF-AR は，夏季シャットダウン中の作業を予定通り終えて，それぞれ11月16日，11月20日から2018年度第2期のユーザー運転を開始します。シャットダウン中の入射器の改造作業により，今期からPFのトップアップ運転が全面的に再開されるとともに，PF-ARでもトップアップ運転が開始される見込みです。これに伴い，PFでは12月7日から12月19日の間，ハイブリッド運転を実施します。この運転モードは，リング1周の約半分に合計約400 mAに相当する電子バンチをほぼ連続的に蓄積し，残り半分に50 mA程度に相当する大電荷のバンチを一つだけ入れるものです。したがって，孤立バンチ部分からのパルス放射光を用いた時間分解測定が行える一方，全体としての電流値は通常の運転と同程度ですので，時間分解を必要としない実験との両立が可能です。ハイブリッド運転では孤立バンチ部分の寿命が短くトップアップ運転が必須なため，ここ数年はあまり実施できませんでしたが，今後は常時トップアップ運転が可能になることで，運転モードの自由度が増すこととなります。

第3期については，引き続き厳しい予算状況ではありますが，PFは2月中旬から3月下旬まで運転を行う予定です（量子ビームサイエンスフェスタの開催中は停止します）。一方，現時点でPF-ARの第3期のユーザー運転は予定されていません。PF-ARについては，運転経費の節約のために5 GeV 運転の検討を進めています。電子エネルギーを従来の6.5 GeV から5 GeV に下げることによって，仮に電流値を従来の2倍程度に上げたとしても，消費電力を6割程度に抑制できることが見込まれます。第1期に加速器のスタディを行い，5 GeVでの電子ビーム蓄積が可能なが確認できましたので，11月29日にビームラインを含めたスタディを行い，電流値の上限やビーム強度の変化などを確認する予定です。5 GeV 運転が可能なが確認できれば，第3期に1週間程度のテスト運転を行うことを検討しています。もちろん，5 GeV 運転では高エネルギー領域のビーム強度が低下しますので，今後，従来の6.5 GeV 運転とのバランスをとりながら運転を行っていきたいと考えています。

ビームライン改造等

大学共同利用機関法人に係る重点支援「放射光施設ビームラインを活用した産業界等におけるイノベーション創出の推進」および，新学術領域「水惑星学の創成」の予算によって建設を進めている軟X線ビームラインBL-19については，これまでも繰り返し報告を行ってきましたが，いよいよ第2期よりビームを用いた立ち上げ調整を開始します。ビームラインの詳細については，Web ページを

ご参照ください (http://pfwww.kek.jp/users_info/station_spec/bl19/)。スケジュールとしては，2019年度から部分的に共同利用実験を開始することを目指しており，これに伴い，2019年度前期実施分より，BL-19を利用した共同利用実験課題の公募を開始しました。ビームラインの立ち上げ状況については，引き続きホームページ等でお知らせしてまいります。

人事関連

構造生物学研究センターの特任准教授として，守屋俊夫さんが9月1日付で着任され，クライオ電子顕微鏡による構造解析のためのプログラム開発と研究支援に従事されます。また，同センターの연구원として，小林淳さんが8月16日付で着任され，X線結晶構造解析を用いた構造生物学研究に従事されます。一方，電子物性グループの助教として，軟X線吸収分光法の開発と薄膜界面の研究をされてきた鈴木（旧姓：酒巻）真粧子さんが，10月1日付で群馬大学に異動されました。構造生物学研究センターの연구원として，蛋白質のX線結晶構造解析を用いた研究をされてきた吉田尚史さんが，10月1日付で横浜市立大学に異動されました。また，構造物性グループの연구원として共鳴X線散乱を用いた研究を推進されてきた田端千紘さんが，11月1日付で京都大学に異動されました。

タンパク質結晶における X 線の動学的回折効果の観測

鈴木凌¹, 小泉晴比古², 平野馨一³, 熊坂崇⁴, 小島謙一⁵, 橘勝¹

¹横浜市立大学 生命ナノシステム科学研究科, ²東北大学 金属材料研究所 (現 名古屋大学 未来材料・システム研究所),

³高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所, ⁴高輝度光科学研究センター タンパク質結晶解析推進室,

⁵横浜創英大学

Observation of X-ray Dynamical Diffraction in Protein Crystals

¹Graduate School of Nanobioscience, Yokohama City University, ²Institute for Materials Research, Tohoku University,

³Institute of Materials Structure Science, High Energy Accelerator Research Organization,

⁴Japan Synchrotron Radiation Research Institute, SPring-8, ⁵Yokohama Soei University

Abstract

酵素タンパク質の一つであるグルコースイソメラーゼの単結晶を用いたロッキングカーブ測定により、回折強度の振動曲線の観測に成功した。この振動曲線のふるまいは入射 X 線の波長や結晶試料厚さに応じて変化し、X 線の動学的回折理論と非常に良い一致を示した。これはタンパク質結晶であっても X 線の動学的回折 (多重散乱) が生じることを示している。本研究結果はこれまで X 線構造解析では考慮されていなかった動学的回折モデルの必要性を提案している。

1. はじめに

超高齢化社会を迎え、病気の原因解明や新規創薬の開発などが盛んに行われている。それらの鍵となるタンパク質など生体高分子の機能や機構を理解するためには、タンパク質の立体構造を原子レベルで理解する必要がある。また、多種多様なタンパク質の構造を理解することは、生命現象を理解することにも繋がる。1962 年ノーベル化学賞を受賞した J. C. Kendrew らによって行われた、分解能 6 Å によるミオグロビンの立体構造の解明を皮切りに、放射光技術の進歩も相まって今日までタンパク質の構造解析の分野は飛躍的に発展してきた。

タンパク質結晶は、その立体構造の解明に向けた最も有力な手法の一つである X 線構造解析に必要不可欠である。X 線による構造解析はタンパク質分子の構成原子の位置情報を比較的正確に求めることが出来る。しかし、その解析精度は X 線回折実験に使用する結晶の品質に大きく左右される。2018 年 9 月 12 日現在、Protein Data Bank (PDB; <https://www.rcsb.org/>) に 144,211 種のタンパク質の立体構造情報が登録されている。自然界には 100 億種を超えるタンパク質が存在するとされており、それに比較すると未だ少数ともいえるが、数多くのタンパク質の立体構造が明らかにされてきている。実際にドラッグデザインとして利用するためには 1.5 Å の高分解能を有する構造が必要とされる。しかし、そのような高分解能な構造が得られているタンパク質は 14,155 種であり、PDB 登録数の 10% にも満たない。たとえ対象のタンパク質の構造が得られていても、そのタンパク質結晶の品質が問題であるとされる。そのため、より高品質なタンパク質結晶を作製するために、国際

宇宙ステーションを利用した微小重力実験をはじめとして、ハイドロゲルや電場などの外場印加による結晶育成技術の提案など、様々な研究が世界中で盛んに行われている [1]。

タンパク質結晶に限らず、結晶の完全性は X 線回折によって評価できる。一般的に、結晶による X 線回折は大きく分けると乱れた結晶による回折を考慮した運動学的回折理論 (kinematical diffraction theory) と完全結晶による回折を考慮した動学的回折理論 (dynamical diffraction theory) の二つになる [2,3]。Fig. 1 に示すように、前者の運動学的回折は結晶粒界や転位などの格子欠陥を多く含み、3 次元の周期性が乱れた結晶、すなわち、モザイク結晶で観察される。モザイク結晶は周期性に乱れない多数の微小領域 (モザイク片) がわずかな方位のずれを持ち合わせて集合していると考えられる。モザイク結晶では互いに干渉しあうことのできる領域が非常に小さいので、入射された X 線は結晶中でほとんど 1 回のみ散乱を生じる。一般の無機材料や有機材料、さらには非晶質材料や液体などの場合にも生じる回折現象である。実際のタンパク質分子の立体構造

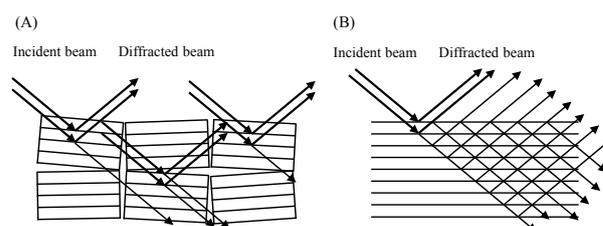


Figure 1 Schematic of (A) kinematical diffraction in mosaic crystal and (B) dynamical diffraction in perfect crystal.

解析においても、この運動学的回折理論のみを考慮している。一方、後者の動力的回折は、Si, Ge, ダイヤモンドのようなごく限られた高品質な結晶、すなわち、完全結晶で生じる[4-7]。結晶の品質をモザイク結晶と完全結晶を両極端として考えた場合、世の中に存在する結晶の多くは完全性の程度に応じてその間に存在する。結晶が完全結晶に近い完全性を有するとき、結晶内ではX線の多重散乱が生じる。この多重散乱を考慮した理論が動力的回折理論である。したがって、後者の動力的回折の観察は、結晶の完全性の指標にもなる。しかし、これまでタンパク質結晶では、動力的回折の明瞭な証拠は得られておらず、依然として、その結晶品質がSiなどの高品質な結晶に比べて劣っているのか、もしくは、そもそも観察することが出来ないのか、タンパク質結晶でX線の多重散乱による動力的回折が観察できるかは長年の課題であった。

タンパク質結晶の完全性の評価は、1990年代の後半からNSLS, PF, ESRFの放射光X線トポグラフィ施設において、筆者らの研究グループも含めいくつかのグループによって先導的研究が行われてきた[8-10]。それらの研究やその発展については、このPFニュース[11]やその他の解説記事[12,13]でも紹介されている。また、最近では、放射光技術や結晶育成技術の進歩により、高品質なタンパク質結晶を用いた放射光単色X線トポグラフィにおいて、上述の動力的回折によるペンデル縞や振動コントラストと考えられるイメージが観察され、動力的回折現象を示唆する実験結果が報告されていた[14]。このような背景の下、筆者らのグループは、結晶性の定量的な理解を目的とし、高品質なタンパク質結晶を用いて、放射光単色X線トポグラフィを用いたロッキングカーブ測定を行った。結果として、動力的回折現象に対応するロッキングカーブの振動構造の明確な観測とその定量的な解析に成功した[15]。これは高品質なタンパク質結晶がSi結晶と同程度の完全性つまり完全結晶の可能性を示している。さらには、タンパク質の結晶構造解析において、従来は考慮されていない動力的回折理論の必要性を示している。

2. 実験方法

2-1. グルコースイソメラーゼ結晶の作製

本研究では、試料として酵素タンパク質のひとつであるグルコースイソメラーゼ(GI)を用いた。GI結晶は、育成した種結晶を再成長させる方法を用いた。結晶化溶液はハンプトンリサーチ社から購入した。種結晶は蒸気拡散法のひとつであるハンギングドロップ法を用いて育成した。結晶化には33 mg/mLグルコースイソメラーゼ、6 mM TRIS 塩酸塩 (pH7.0), 0.91 M 硫酸アンモニウム, 1 mM 硫酸マグネシウムを混合させた結晶化溶液を用いた。育成した種結晶を取り出し、あらかじめ作製したアクリル製の結晶ホルダー内に満たした結晶化溶液内に移した。成長過程で生じる不均一核生成を抑えるため、種結晶の入ったホルダーを40°Cで30分間熱処理した。その後、20°Cで2週間静置した。

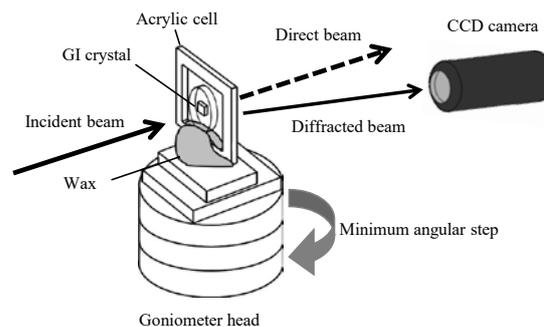


Figure 2 Schematic of X-ray topography.

2-2. X線トポグラフィとロッキングカーブ測定

放射光単色X線トポグラフィは高エネルギー加速器研究機構のPhoton Factory BL-20B および SPring-8 BL38B1にて行った。Si(111)の二結晶分光器を用いて、蓄積リングから発生する白色X線を単色化した。測定で用いたX線の波長は1.0, 1.2, 1.4 Åである。Fig. 2に示すように、結晶が固定されたアクリルホルダーをゴニオメーター上に設置し、光軸調整を行った。その後、目的的回折に合わせ、高分解能X線CCDカメラ(Photonic Science X-RAY FDI 1.00:1, 有効素子サイズ: $6.45 \times 6.45 \mu\text{m}^2$) および、高分解能X線sCMOSカメラ(Hamamatsu C12849-101U, 有効素子サイズ: $6.5 \times 6.5 \mu\text{m}^2$)を用いて1stepあたり 3.31×10^{-4} の回転角度でロッキングカーブ測定を行った。また、X線フィルム(Agfa D2)を用いたトポグラフ像の撮影も行った。なお、本測定では結晶全体の回折像が得られるよう、完浴条件で測定を行った。

3. 結果と考察

3-1. 高品質グルコースイソメラーゼ結晶のX線トポグラフ像と回折強度の振動曲線

典型的なGI結晶の光学顕微鏡像と結晶外形の模式図、得られたトポグラフ像をFig. 3に示す。得られた結晶は転位などの欠陥由来のコントラストが一切見られないことから、欠陥の無い高品質な結晶であることが分かった。さらに、結晶の稜にあたるくさび形領域において、完全結晶でのみ生じる等厚干渉縞に由来するコントラストが見られることが分かる。このような非常に高品質なGI結晶を用いてロッキングカーブ測定を行った。

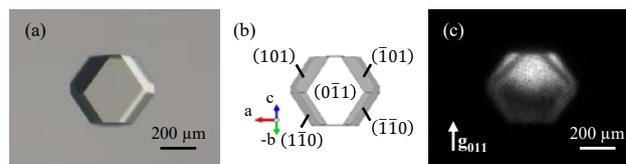


Figure 3 Typical GI crystal. (A) Optical micrograph, (B) corresponding schematic prepared with VESTA software [19], and (C) digital X-ray topograph with the CCD camera in BL-20B at KEK-PF.

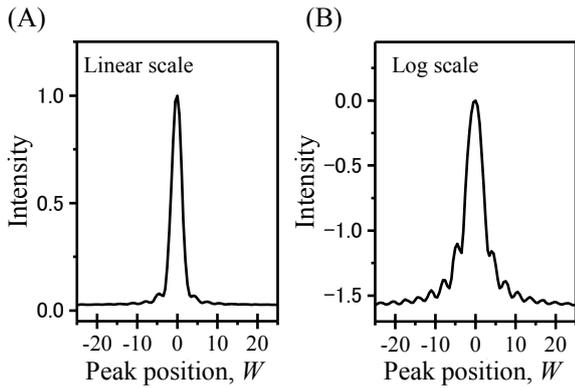


Figure 4 Typical rocking curve for 011 reflection of a GI crystal with a thickness of 199 μm , taken with an incident beam with a wavelength of 1.2 \AA in BL-20B at KEK-PF. In (A) and (B), the intensities of the same rocking curves are shown on linear and logarithmic scales, respectively.

Fig. 4 にリニアスケールおよびログスケールで描かれた 011 回折のロッキングカーブプロファイルを示す。結晶厚さは 199 μm である。横軸は回折角度位置（ブラッグ角からのずれ）、縦軸は回折強度を示している。得られた回折強度は回折角に応じて振動している様子が見られた。このような振動曲線を有するロッキングカーブプロファイルは、半導体結晶の Si 結晶のような完全結晶でのみ観察されているが [5]、タンパク質結晶ではこれまで報告がない。タンパク質結晶におけるロッキングカーブの振動現象を動力的回折によるものであることを裏付けるため、入射 X 線の波長依存性と結晶の厚さ依存性の二つの依存性を測定した。なお、以降の解析はすべてログスケールで行っている。

3-2. 動力的回折効果の裏付け① 入射 X 線の波長依存性

動力的回折理論 [3] によると、ロッキングカーブの横軸 W は以下のように与えられる。

$$W = \frac{2\Lambda \sin \theta_B}{\lambda} (\theta_B - \theta), \quad (1)$$

$$\Lambda = \frac{\pi V_c \cos \theta_B}{r_e \lambda |F|}. \quad (2)$$

ここで、 W は回折条件であるブラッグ角からのずれを表すパラメーターである。また、 Λ はペンデル幅であり、入射 X 線の波長 λ に逆比例することが分かる。その他のパラメーターはそれぞれ、ブラッグ角 θ_B 、ユニットセルの体積 V_c 、古典電子半径 r_e 、構造因子 F である。さらに、吸収を考慮しない完全結晶における回折強度曲線は入射 X 線の強度を I_0 、回折強度を I_g^n として、次式で与えられる。

$$\frac{I_g^n}{I_0} = \frac{\sin^2(\pi H \sqrt{W^2 + 1} / \Lambda)}{W^2 + 1}, \quad (3)$$

ここで、 H は結晶の厚さを示し、回折強度が回折位置 W に応じて振動することが予測される。しかし、実際の X 線回折実験では入射 X 線の広がりがあるため、結晶の厚さに

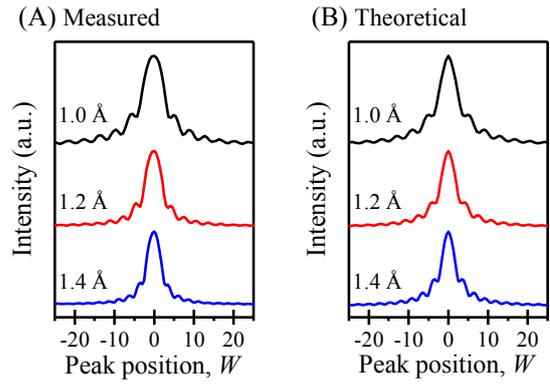


Figure 5 Rocking curves for 011 reflections of the same GI crystals with a thickness of 199 μm , taken with incident beams with different wavelengths of 1.0, 1.2 and 1.4 \AA , in BL-20B at KEK-PF. (A) Measured rocking curves and (B) theoretical rocking curves.

よっては振動の周期を分解できず、振動が平均化される。吸収の無い完全結晶における回折強度の平均曲線は回折強度を \bar{I}_g^n として、次式で与えられる。

$$\frac{\bar{I}_g^n}{I_0} = \frac{1}{2(W^2 + 1)}. \quad (4)$$

すなわち、実際の測定で観測される回折強度曲線は、式 (3) と (4) の割合で決まることが予想される。そこで、測定値をフィッティングするため、次式のように回折強度曲線の理論曲線を描く。

$$I = r \frac{I_g^n}{I_0} + (1-r) \frac{\bar{I}_g^n}{I_0}, \quad (5)$$

ここで、 r は理論曲線と平均曲線の按分比を示している。

入射 X 線の波長を 1.0, 1.2, 1.4 \AA と変化させたときのロッキングカーブプロファイルを Fig. 5(A) に示す。この時の結晶の厚さは 199 μm である。同様に、入射 X 線の波長を変化させた時に予測される回折強度曲線の理論曲線を Fig. 5(B) に示す。理論から予測される波長が大きくなるにつれ、回折強度曲線の振動幅が小さくなるといったふるまいと同様なふるまいが実験で得られた。すなわち、測定によって得られた回折強度曲線は動力的回折理論から予測される回折強度曲線とよく一致していることが分かる。

3-3. 動力的回折効果の裏付け② 結晶の厚さ依存性

さらに、異なる厚さを持つ GI 結晶を用いてロッキングカーブ測定を行った。実際に用いた GI 結晶の厚さは 824, 362, 260, 199 μm 、入射 X 線の波長は 1.2 \AA である。Fig. 6(A) に実際の測定で得られた回折強度曲線を示す。回折強度曲線の振動が結晶の厚さが大きくなるにつれ減少している様子が見られた。これは厚さが大きくなるにつれ、振動幅が入射 X 線の広がりよりも小さくなり、振動を分解できなくなるためである。上述の波長依存性と同様に、得られた回折強度曲線の理論曲線によるフィッティング結果

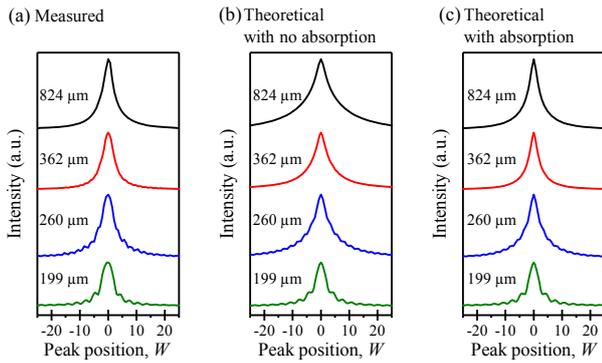


Figure 6 Rocking curves for 011 reflections of GI crystals with different thicknesses of 824, 362, 260 and 199 μm , taken with an incident beam with a wavelength of 1.2 \AA in BL-20B at KEK-PF. (A) Measured rocking curves, (B) theoretical rocking curves with no absorption and (C) theoretical rocking curves with absorption..

を Fig. 6(B) に示す。結晶の厚さが大きくなるにつれ、そのフィッティング精度が落ちている様子が分かる。とりわけ、厚さ 824 μm の結晶では回折強度曲線のすその領域で測定値と差が大きい。これは結晶の吸収によるものであることが予測される。そこで、吸収を考慮した動学的回折理論 [3] を用いて、回折強度曲線の解析を行った。吸収のある完全結晶における回折強度曲線は次式で与えられる。

$$\frac{I_g^a}{I_o} = \frac{\exp(-\mu H / \cos \theta_B)}{W^2 + 1} \left\{ \sin^2 \left(\frac{\pi H \sqrt{W^2 + 1}}{\Lambda} \right) + \sinh^2 \left(\frac{\chi \pi H \sqrt{W^2 + 1}}{\Lambda} \right) \right\}. \quad (6)$$

ここで、パラメーター μ と χ はそれぞれ線吸収係数と電気感受率である。また、吸収を考慮した場合の回折強度曲線の平均曲線は次式で与えられる。

$$\frac{\bar{I}_g^a}{I_o} = \frac{1}{4(W^2 + 1)} \left[\exp \left\{ \frac{-\mu H}{\cos \theta_B} \left(1 - \frac{\varepsilon}{\sqrt{W^2 + 1}} \right) \right\} + \exp \left\{ \frac{-\mu H}{\cos \theta_B} \left(1 + \frac{\varepsilon}{\sqrt{W^2 + 1}} \right) \right\} \right]. \quad (7)$$

ここで、 ε は誘電率である。

吸収を考慮した動学的回折理論から予測される回折強度曲線によるフィッティング結果を Fig. 6(C) に示す。吸収を無視した場合と比べ、その精度は非常に向上し、実際の測定で得られた回折強度曲線とよく一致していることが分かる。また、フィッティングから線吸収係数 $\mu = 0.18 \text{ mm}^{-1}$ 、電気感受率 $\chi = 0.001$ 、誘電率 $\varepsilon = 23$ と得られた。これらの値は計算から見積もられる値や先行研究で得られている値とよく一致した [16–18]。

4. まとめ

本稿では、放射光 X 線トポグラフィによるロッピングカーブの測定により、タンパク質結晶における長年の課題であった X 線による動学的回折現象の観測、並びに完全性の定量的な評価に世界で初めて成功したことを示した。これは、高品質なタンパク質結晶が、Si などの完全結晶と同様に動学的回折現象を示す高い完全性を有することを示している。さらに、この成果は、高品質なタンパク質結

晶を用いた立体構造解析において、従来は考慮されていなかった動学的回折理論の必要性を示している。したがって、このような動学的回折理論を取り入れた構造解析では、回折強度の解析精度の改善につながり、より高精度な電子密度の評価、さらには理論化学計算との比較によるタンパク質の性質の原理的な理解に繋がるものと期待される。また、このような動学的回折では、イメージングにおいてもペンデル縞や干渉縞などのいくつかの興味深い現象が期待され、タンパク質結晶の動学的回折を積極的に利用した新たな結晶評価法に繋がることを期待している。

5. 謝辞

X 線トポグラフィおよびロッピングカーブ測定は放射光共同利用実験課題 (2014G601, 2015G142, 2017G087) および高輝度光科学研究センター実験課題 (2014A1850, 2014B1965, 2015A1994, 2015B1979, 2017A2562) によって、KEK-PF の BL-20B および SPring-8 の BL38B1 にて実施された。ビームライン担当者の物質構造科学研究所の杉山弘助教、高輝度光科学研究センターの馬場清喜博士、水野伸宏博士に心から感謝したい。また、本研究は JSPS 科研費 (25420694, 16K06708) および JST-ACCEL (JPMJAC1304) の助成を受けた。

引用文献

- [1] N.E. Chayen, J.R. Helliwell, E.H. Snell, *Macromolecular Crystallization and Crystal Perfection*, Oxford Univ Press, Oxford, (2010).
- [2] W.H. Zachariasen, *Theory of X-ray Diffraction in Crystals*, Dover Publications, New York, (1945).
- [3] A. Authier, *Dynamical Theory of X-Ray Diffraction*, Oxford Science Publications, Oxford, (2001).
- [4] N. Kato, A.R. Lang, *Acta Crystallogr.* **12**, 787 (1959).
- [5] T. Ishikawa, K. Hirano, S. Kikuta, *Methods Phys. Res. Sect. A* **308**, 356 (1991).
- [6] E. Persson, *Phys. Scr.* **3**, 293 (1971).
- [7] G. Kowalski, A.R. Lang, *J. Appl. Crystallogr.* **22**, 410 (1989).
- [8] V. Stojanoff, D.P. Siddons, *Acta Cryst.* **A52**, 498 (1996).
- [9] F. Otalora, J.M. Garcia-Ruiz, J.A. Gavira, B. Capelle, *J. Cryst. Growth* **196**, 546 (1999).
- [10] M. Tachibana, H. Koizumi, K. Izumi, K. Kajiwara, K. Kojima, *J. Synchrotron Radiat.* **10**, 416 (2003).
- [11] 橋勝, 小泉 晴比古, 小島 謙一, *Photon Factory News* **22**, 17 (2004).
- [12] 小島 謙一, 橋勝, *日本結晶学会誌* **54**, 29 (2012).
- [13] 橋勝, 鈴木 凌, 小泉 晴比古, 若生 啓, 小島 謙一, *日本結晶成長学会誌* **43**, 101 (2016).
- [14] R. Suzuki, H. Koizumi, K. Kojima, S. Fukuyama, Y. Arai, K. Tsukamoto, Y. Suzuki, M. Tachibana, *J. Cryst. Growth* **468**, 299 (2017).
- [15] R. Suzuki, H. Koizumi, K. Hirano, T. Kumasaka, K.

- Kojima, M. Tachibana, Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. **115**, 3634 (2018).
- [16] M.K. Gilson, B.H. Honig, Biopolymers **25**, 2097 (1986).
- [17] T. Simonson, C.L. Brooks, J. Am. Chem. Soc. **118**, 8452 (1996).
- [18] L.N. Rashkovich, V.A. Smirnov, E.V. Petrova, Phys. Solid State **50**, 631 (2008).
- [19] K. Momma, F. Izumi, J. Appl. Crystallogr. **44**, 1272 (2011).

(原稿受付日：2018年9月27日)

著者紹介

鈴木凌 Ryo SUZUKI

横浜市立大学 生命ナノシステム科学研究科 物質システム
科学専攻 博士後期課程 2年

〒236-0027 神奈川県横浜市金沢区瀬戸 22-2

TEL: 045-787-2307 FAX: 045-787-2307

e-mail: n175302b@yokohama-cu.ac.jp

略歴：2015年3月 横浜市立大学 国際総合科学部 国際総合
科学科 卒業。

2017年3月 横浜市立大学 生命ナノシステム科学研究科 物
質システム科学専攻 博士前期課程 修了。

最近の研究：新材料応用へ向けた大型タンパク質結晶の作
製と力学的性質の解明。

小泉晴比古 Haruhiko KOIZUMI

名古屋大学 未来材料・システム研究所 特任講師

〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町

e-mail: h_koizumi@unno.material.nagoya-u.ac.jp

平野馨一 Keiichi HIRANO

高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 准教授

〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

e-mail: keiichi.hirano@kek.jp

熊坂崇 Takashi KUMASAKA

高輝度光科学研究センター タンパク質結晶解析推進室 室
長

〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1

e-mail: kumasaka@spring8.or.jp

小島謙一 Kenichi KOJIMA

横浜創英大学 学長

〒226-0015 神奈川県横浜市緑区三保町 1

e-mail: kkojima@soei.ac.jp

橋勝 Masaru TACHIBANA

横浜市立大学 生命ナノシステム科学研究科 教授

〒236-0027 神奈川県横浜市金沢区瀬戸 22-2

TEL: 045-787-2307 FAX: 045-787-2307

e-mail: tachiban@yokohama-cu.ac.jp

La_{1-x}Sr_xMnO₃ 薄膜における基板応力により誘起された異方的スピン分布の角度依存 X 線磁気円二色性による観測

芝田悟朗¹, 北村未歩², 簗原誠人², 吉松公平^{1,2}, 門野利治¹, 石上啓介¹, 原野貴幸¹, 高橋文雄¹, 坂本祥哉¹, 野中洋亮¹, 池田啓祐¹, 池震棟¹, 古瀬充穂³, 淵野修一郎³, 岡野眞³, 藤平潤一⁴, 内田公⁴, 渡邊和訓⁴, 藤平秀幸⁴, 藤平誠一⁴, 田中新⁵, 組頭広志², 小出常晴², 藤森淳¹

¹ 東京大学大学院理学系研究科, ² 物質構造科学研究所, ³ 産業技術総合研究所, ⁴ 株式会社フジヒラ, ⁵ 広島大学大学院先端物質科学研究科

Strain-induced anisotropic spin-density distribution in La_{1-x}Sr_xMnO₃ thin films revealed by angle-dependent x-ray magnetic circular dichroism

Goro SHIBATA¹, Miho KITAMURA², Makoto MINOHARA², Kohei YOSHIMATSU^{1,2}, Toshiharu KADONO¹, Keisuke ISHIGAMI¹, Takayuki HARANO¹, Yukio TAKAHASHI¹, Shoya SAKAMOTO¹, Yosuke NONAKA¹, Keisuke IKEDA¹, Zhendong CHI¹, Mitsuho FURUSE³, Shuichiro FUCHINO³, Makoto OKANO³, Jun-ichi FUJIHIRA⁴, Akira UCHIDA⁴, Kazunori WATANABE⁴, Hideyuki FUJIHIRA⁴, Seiichi FUJIHIRA⁴, Arata TANAKA⁵, Hiroshi KUMIGASHIRA², Tsuneharu KOIDE² and Atsushi FUJIMORI¹

¹Department of Physics, The University of Tokyo, ²Institute of Materials Structure Science, ³National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, ⁴Fujihira Co. Ltd., ⁵Department of Quantum Matter, Hiroshima University

Abstract

近年我々が開発し、PF BL-16A において運用を行っているベクトルマグネット型 X 線磁気円二色性 (XMCD) 装置を用いて、SrTiO₃ (STO) および LaAlO₃ (LAO) 基板上に成長させた強磁性 La_{1-x}Sr_xMnO₃ (LSMO) 薄膜の角度依存 XMCD 測定を行い、薄膜中のスピン分布異方性、すなわちスピン分極した電子の軌道占有状態の直接観測を試みた。XMCD スペクトルの磁場方向依存性の測定により、基板応力に由来するスピン密度分布の異方性の変化を観測することができた。得られた結果と先行研究の X 線直線二色性との比較から、スピン分極した電子とそうでない電子との間で軌道占有状態に差が見られることが示唆された。

1. はじめに

磁気異方性は強磁性体の最も基本的な物理的特性の一つであり、それを制御すること、またその起源を明らかにすることは基礎科学・応用科学の両面において重要な課題となっている。磁気異方性は一般に、スピン軌道相互作用とミクロな電子状態 (磁気モーメントやバンド構造・電荷/スピン分布の異方性など) とが複雑に組み合わさった効果として現れるため、その起源を微視的な観点から説明することは非常に挑戦的な課題である。特に、強磁性薄膜や多層膜の磁気異方性に関しては、磁気デバイスへの応用の観点からも特に興味を持たれている。

本研究で対象とするペロブスカイト型マンガン酸化物 La_{1-x}Sr_xMnO₃ (LSMO) は、巨大磁気抵抗やハーフメタル性といった新奇な磁気特性を示すことから長い間研究が続けられてきた物質系である。特に、ホールドープ量 x や温度 T , 磁場 H を変化させることにより物性をさまざまに制御させることができる点が特徴的である [1]。 $x=0.175-0.5$ の広いホールドープ量の範囲で二重交換相互作用による強磁性金属相となり、 $x=0.3$ のときに最大のキュリー温度 $T_c \sim 370$ K を示すことが知られている [1]。さらに薄膜の

場合は、LSMO 薄膜と基板との格子定数の差に応じて薄膜が一軸性の応力を受けるため、それによっても物理的特性が大きく変化する。例えば Konishi らは [2], LSMO ($x=0.3-0.5$) 薄膜を格子定数の異なる複数の基板の上に堆積させ、それらの輸送特性・磁気特性を調べることで、面内方向伸張性応力の時には A タイプ反強磁性相に、面内方向圧縮性応力の時には C タイプ反強磁性絶縁体相に変化する傾向があることを提案した。また第一原理計算の結果との比較から、伸張性応力の場合には Mn の $d_{x^2-y^2}$ 軌道が、圧縮性応力の場合は $d_{3z^2-r^2}$ 軌道がそれぞれ優先的に占有されることも予言している [2]。この他に、強磁性 LSMO 薄膜の磁化容易軸が、基板応力の正負に応じて面内または面直に変化することも知られており [3-4], 磁気異方性と Mn 3d 電子の軌道占有との間に関係性があることを示唆するものとなっている。

しかしながら、過去に実験的に観測された Mn 3d 電子の軌道占有状態は必ずしも第一原理計算の結果どおりにはなっていない。X 線直線二色性 (XLD) の先行研究 [5-7] によると、伸張性基板の SrTiO₃ (001) (STO) と圧縮性基板の LaAlO₃ (001) (LAO) のどちらを用いた場合でも、面直方

向に伸びる $d_{3z^2-r^2}$ 軌道が優先的に占有されているという結果が得られている。この理論予測との不一致については、表面での空間反転対称性の破れによって、表面とバルクとで軌道占有の様子が異なっているためと考えられている [5-7]。この例からも分かるように、微視的な電子状態・磁気状態と、マクロな磁性との関係性を明らかにすることは簡単ではない。

本研究では、X線磁気円二色性 (XMCD) の磁場方向依存性から、強磁性体中におけるスピン分極した電子の軌道占有状態の直接観測を試みた。XMCD は、左右円偏光 X線に対する X線吸収分光 (XAS) スペクトルの差を測定することにより、強磁性体試料の磁気的情報や電子状態について知見を得ることのできる手法である。特に、XMCD 総和則 [8,9] と呼ばれる公式を用いると、磁性元素ごとの軌道磁気モーメント M_{orb} とスピン磁気モーメント M_{spin} を別々に見積もることができる。このため、さまざまな磁性体試料、特に複数の磁性元素を含む系や、磁性体の体積が微小であるような系の磁気状態の研究に広く用いられている。また XMCD スピン総和則 [9] によると、主要項である M_{spin} の他に、“磁気双極子項” M_T と呼ばれる余剰項が含まれることが知られている。磁気双極子項 M_T は、 $M_T \equiv -g\mu_B(S-3(r \cdot S)r/r^2)$ (S : スピン角運動量, r : 電子の位置演算子) で定義され、スピン密度の空間分布の異方性、すなわちスピン分極した電子の軌道がどの方向へ伸びているかを表す物理量である [10]。上述の XLD が、全ての価電子の軌道占有に関する情報を与えるのに対し、 M_T が意味するものはスピン分極した電子の軌道占有に関する情報である。一般に、単一の XMCD スペクトルから M_{spin} と M_T の成分を分離するのは困難であるが、XMCD スペクトルの角度依存性を調べることでこれらの分離を行える。特に、XMCD は入射 X線に平行な磁気モーメントの成分を観測する手法であるため、 M_{spin} が入射光と垂直になるように磁場方向を調整すれば、 M_T のみを分離抽出することが可能になる (Transverse XMCD, TXMCD) [11]。

このような角度依存 XMCD および TXMCD の実験は理論的には以前から提案されていたが [10-14]、磁場方向を変えることが実験的に困難であったことから、実験例は限られていた [15-18]。近年我々は、二組の超伝導マグネットの組み合わせにより磁場方向を変化できる XMCD 実験装置 (ベクトルマグネット XMCD 装置) の開発を行い [19,20]、それを用いた磁性研究を Photon Factory BL-16A にて行っている [21-23]。後述のように、磁場方向を調整して TXMCD となるような配置で測定を行えば、そこから強磁性に寄与する電子の軌道占有状態に関する量、すなわち M_T を見積もることができる。また本手法を用いると、従来の試料を回転させる XMCD に比べ、磁気異方性定数を saturation effect [24] の影響を避けながら測定できるという利点がある。本稿では、STO 基板上および LAO 基板上に成長させた強磁性 LSMO ($x=0.3$) 薄膜の角度依存 XMCD および TXMCD 測定の結果を紹介する。LSMO 薄膜に異なる基板応力を加えることによって、伸張性応力の場合に

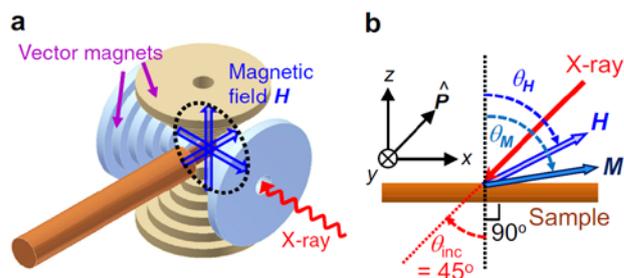


Figure 1 Experimental geometry of angle-dependent x-ray magnetic circular dichroism (XMCD). (a) Schematic drawing of the experimental setup. (b) Definition of the angles of incident x-rays (θ_{inc}), magnetic field (θ_H), and magnetization (θ_M). θ_{inc} was fixed at 45° in the present work. \hat{P} is a unit vector along the x-ray incident direction, which is defined to be antiparallel to the wavevector of x-rays k . Reproduced from Ref. [21].

はスピン分布が $d_{x^2-y^2}$ 的に、圧縮性応力の場合には $d_{3z^2-r^2}$ 的になることが M_T の直接観測により示された。また、前述の XLD で観測された電子軌道占有との違いについても考察する。

2. 実験手法

Fig. 1a に、本研究で用いたベクトルマグネット XMCD 実験装置の模式図を示す [19,20]。互いに垂直に組み合わせた二軸の超伝導マグネットコイルを用いることで、ビーム方向と鉛直方向を含む平面内の任意の方向へ磁場を印加することが可能である。本稿の角度依存 XMCD 実験での測定ジオメトリは Fig. 1b に示すとおりである。X線の入射方向 (θ_{inc}) は試料面直方向から 45° 方向に固定し、磁場方向 (θ_H) を変化させることによって測定を行った。ここで、磁場方向 θ_H と、試料の磁化方向 (θ_M) とは一般に異なることに注意する必要がある。これは、磁場の大きさが飽和に必要な磁場よりも小さな場合は、磁気異方性の効果により外部磁場 H と磁化 M の方向が異なるためである。後述するように、このことを利用して、XMCD 強度の θ_H 依存性から試料の磁気異方性の大きさを見積もることが可能になる。

異なる基板応力を受けた試料を実現するため、Laser-MBE 法 [25] により LSMO ($x=0.3$) 薄膜試料を STO (001) および LAO (001) 基板上に作製した。1 節でも述べたように、LSMO と基板との格子定数の不整合により、STO 基板上に堆積させた場合には面内方向へ伸張性の応力、LAO 基板上の場合には圧縮性の応力となる。作製条件の詳細および試料特性の評価については文献 [21] を参照されたい。

3. XMCD の角度依存性と Transverse XMCD

Fig. 2a および 2b に、Mn $L_{2,3}$ 吸収端 ($2p \rightarrow 3d$ 遷移) における STO, LAO 両基板上試料の XAS スペクトルを、Fig. 2c および 2d に XMCD スペクトルの磁場方向依存性を示す。どちらの試料においても、XMCD の強度が系統的に変化していく様子が分かる。XMCD では磁気モーメントのうち光軸に平行な成分のみが観測されるため、この変化は磁場方向の変化に伴い磁化方向が回転することを

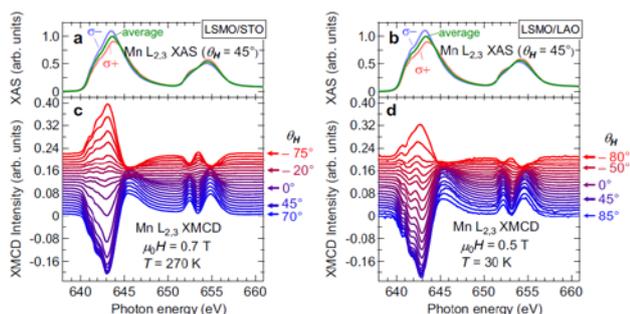


Figure 2 X-ray absorption spectroscopy (XAS) and angle-dependent XMCD spectra of the $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ (LSMO, $x = 0.3$) thin films at the Mn $L_{2,3}$ absorption edges. (a), (b) XAS spectra of the LSMO thin films grown on the Nb-doped SrTiO_3 (STO) (a) and LaAlO_3 (LAO) (b) substrates. The absorption spectra for the positive (σ^+) and negative (σ^-) helicity photons, and the average of them over both the helicities are shown. The spectra have been normalized so that the height of the averaged XAS spectra is equal to unity. (c), (d) XMCD spectra of the LSMO/STO (c) and LSMO/LAO (d) thin films with varying θ_H . See Fig. 1(b) for the experimental geometry. Reproduced from Ref. [21].

示している。 L_3 端の XMCD 強度に注目すると、STO 基板の場合 $\theta_H = -15^\circ$ から -20° の付近で、LAO 基板の場合 $\theta_H = -50^\circ$ から -55° の付近で XMCD の符号反転が起きていることが分かる。これは、上記の θ_H のところで入射 X 線とスピン磁気モーメントとがほぼ垂直方向を向くこと、すなわち 1. 節で述べた TXMCD の配置が実現していることを示している。

この TXMCD 配置、すなわち $\theta_H = -20^\circ$ (STO 基板) および $\theta_H = -50^\circ$ (LAO 基板) における XMCD スペクトルを拡大したものを Fig. 3a 下段に示す。TXMCD 配置においても、XMCD が完全に消えることはなく、有限の信号成分が残っていることが分かる。これらのスペクトル形状は、通常の配置 (光軸と磁場が平行になる配置) で測定した XMCD スペクトル (Fig. 3a 上段) とは明確に異なっており、スピン磁気モーメントが完全に光軸と垂直になっていないために有限の信号が残っている、という可能性は除外される。さらに、STO 基板と LAO 基板との場合でスペクトルの符号のみが変化しており、形状は一致していることが分かる。このことは、基板応力を逆にすることによって M_T の符号が反転すること、すなわちスピン分極した Mn 3d 電子の軌道占有 ($d_{3z^2-r^2}$ 的か $d_{x^2-y^2}$ 的か) が両試料間で逆になっていることを示唆する。

Fig. 3a に示したスペクトルが真の TXMCD スペクトルであるかどうかを検証するため、 Mn^{3+}O_6 クラスタを用いたクラスタモデル計算 [26] によって再現することを試みた。ここでは、基板応力の効果を取り入れるため、Fig. 3c に示すような D_{4h} 対称性をもつクラスタを仮定している。モデルパラメータの最適化を行った結果、Fig. 3b に示すような TXMCD スペクトルが得られた。Fig. 3a と 3b のスペクトルを比較すると、ピーク本数およびピーク位置がほぼ一致しており、実験を再現するスペクトルが得

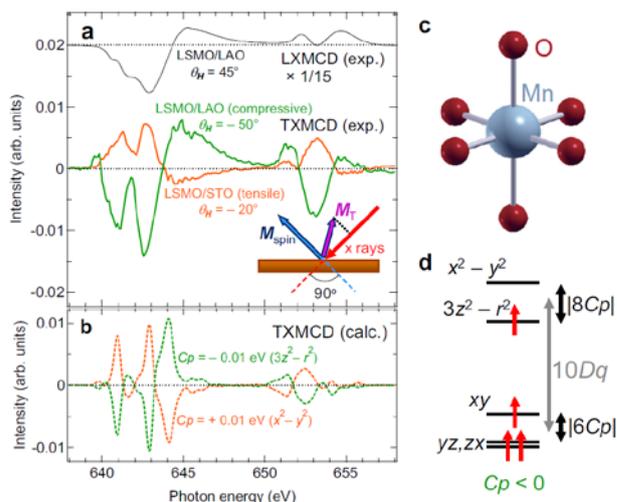


Figure 3 Transverse XMCD (TXMCD). (a) Experimental TXMCD spectra of the LSMO thin films on the STO and LAO substrates compared with the longitudinal XMCD (LXMCD) spectra (black). Inset shows the schematic drawing of the TXMCD geometry. (b) Calculated TXMCD spectra based on the Mn^{3+}O_6 cluster model with D_{4h} symmetry. (c) Schematic drawing of the Mn^{3+}O_6 cluster, (d) Schematic drawing of the energy levels of the Mn 3d orbitals under D_{4h} symmetry. Here, C_p is a parameter proportional to the crystal-field splitting between the x^2-y^2 and $3z^2-r^2$ levels [17], and $C_p = +0.01$ eV ($C_p = -0.01$ eV) corresponds to the case where the x^2-y^2 ($3z^2-r^2$) level has lower energy than the $3z^2-r^2$ (x^2-y^2) level. Panels (c) and (d) describe the case of $C_p < 0$. Reproduced from Ref. [21].

られたと言える (ピーク幅および強度の違いは、クラスタモデルが局在電子系を仮定していることに因る)。計算と実験の TXMCD スペクトルの符号の比較から、STO (LAO) 基板の場合には Mn 3d 電子のスピン密度分布が $d_{x^2-y^2}$ 的 ($d_{3z^2-r^2}$ 的) になっていることが分かる。これは、STO が面内伸張性、LAO が圧縮性の応力を持つことと矛盾のない結果である。

4. 角度依存性からの磁気異方性エネルギーおよびスピン密度分布の見積

Fig. 2c, 2d において、XMCD の符号反転が $\theta_H = -20^\circ$ (STO 基板) および $\theta_H = -50^\circ$ (LAO 基板) において起こることを確かめた。仮に試料に磁気異方性がなければ、この符号反転は必ず光と磁場方向とが垂直になる角度 (すなわち $\theta_H = -45^\circ$) で起こるはずであるが、実際にはそうならない。このことは、磁気異方性の存在によって磁場反転の角度が $\theta_H = -45^\circ$ からずれていることを表す。逆に、得られた XMCD 強度の磁場方向依存性を理論曲線にフィッティングすることで、試料の磁気異方性に関する情報が得られることが期待される。

Fig. 4a, 4b は、XMCD スピン総和則 [9] を用いて有効スピン磁気モーメント $M_{\text{spin}}^{\text{eff}} (\equiv M_{\text{spin}} + (7/2) M_T)$ の入射光方向成分をプロットしたものである。得られた角度依存性は、破線で示したような磁気異方性のない場合 (形状磁気異方性および結晶磁気異方性とも存在しない場合) とは大きく

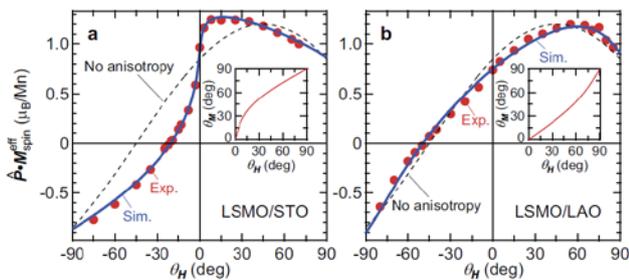


Figure 4 Angular dependence of the projected magnetic moment. (a), (b) θ_H -dependencies of the projected effective spin magnetic moment $\hat{P} \cdot \mathbf{M}_{\text{spin}}^{\text{eff}}$ ($\sim \hat{P} \cdot \mathbf{M}_{\text{spin}}$) deduced from the experimental data using the spin XMCD sum rule [9] (circle) and its simulations. (a) and (b) are the data for the LSMO/STO and LSMO/LAO thin films, respectively. The dashed curve describes the case where there is no magnetic anisotropy, and the solid curve describes the case where the shape magnetic anisotropy and magnetocrystalline anisotropy (MCA) are taken into account. Insets show the relationship between θ_M and θ_H deduced from the simulation. The strength of the applied magnetic field was 0.7 T for the LSMO/STO film and 0.5 T for the LSMO/LAO film. See Fig. 1(b) for the experimental geometry. Reproduced from Ref. [21]

異なっており、磁気異方性の効果を取り入れることの重要性を示唆している。そこで我々は、Stoner-Wohlfarth モデル [27] を用いてこの角度依存性をフィットすることを試みた。このモデルでは、磁場強度が十分強く試料が単一磁区になっていること、および試料が $\cos^2 \theta_M$ に比例する一軸性の結晶磁気異方性を持つことを仮定する。そうすると、単位体積当たりの静磁エネルギー E を、磁化方向 θ_M の関数として計算することができる。この E を θ_M について最小化することによって、ある方向 θ_H に磁場を加えた際の磁化方向 θ_M を求めることが可能になる。この θ_M を用いて、有効スピン磁気モーメントの射影成分 $\hat{P} \cdot \mathbf{M}_{\text{spin}}^{\text{eff}} = \hat{P} \cdot [\mathbf{M}_{\text{spin}} + (7/2) \mathbf{M}_T]$ を計算する。このフィッティングから同時に、結晶磁気異方性定数 K_u 、飽和磁化 \mathbf{M}_{sat} 、および Mn 3d 電子軌道の電気四重極子モーメント $\langle Q_{zz} \rangle \equiv (1-3z^2)$ が求まる。ここで電気四重極子モーメント $\langle Q_{zz} \rangle$ は磁気双極子項 \mathbf{M}_T に関連する量で、電荷分布の異方性を反映する量である (例えば $3z^2-r^2$ 軌道に対しては $\langle Q_{zz} \rangle = -4/7$ 、 x^2-y^2 軌道に対しては $\langle Q_{zz} \rangle = +4/7$ となる [10])。フィットの手法の詳細については文献 [21] の手法の節を参照して頂きたい。

Stoner-Wohlfarth モデルによるフィットの結果を Fig. 4a, 4b に実線で示す。フィット曲線は実験結果とよく一致しており、試料の磁気異方性が上述した Stoner-Wohlfarth モデルの仮定の下でよく記述できることを示している。得ら

Table 1 Best-fit parameters for the simulated curves in Figs. 4(a) and 4(b). Errors have been estimated using the least squares method. K_u represents the MCA energy excluding shape magnetic anisotropy. Reproduced from Ref. [21].

Substrate	M_{sat} (μ_B/Mn)	K_u (kJ/m^3)	$(7/2)\langle Q_{zz} \rangle$
STO	1.255 ± 0.007	-37.2 ± 0.8	$+0.05 \pm 0.01$
LAO	1.206 ± 0.014	$+40.4 \pm 2.4$	-0.12 ± 0.02

れたフィットパラメータは Table 1 のとおりである。STO 基板の場合には $K_u < 0$ (面内磁化容易)、LAO 基板の場合には $K_u > 0$ (面直磁化容易) となっており、先行研究の結果と一致する結果が得られている。電気四重極子モーメント $\langle Q_{zz} \rangle$ に関しては、STO 基板の場合には $\langle Q_{zz} \rangle > 0$ ($d_{x^2-y^2}$ 的な電荷分布)、LAO 基板の場合には $\langle Q_{zz} \rangle < 0$ ($d_{3z^2-r^2}$ 的な電荷分布) となっており、これも基板応力から予想される電荷分布と一致する結果になっている。この結果から、 $d_{x^2-y^2}$ 軌道と $d_{3z^2-r^2}$ 軌道の占有の偏りの程度 [$(7/2)\langle Q_{zz} \rangle/2$ に等しい] を見積もることができ、STO 基板の場合は $d_{x^2-y^2}$ 軌道が約 2.5% 多く、LAO 基板の場合は $d_{3z^2-r^2}$ 軌道が約 6% 多く占有されているという結果になる。

1. 節でも述べたとおり、今回用いた磁気異方性の見積もりの手法は、従来の試料を回転させる XMCD 測定に比べて、saturation effect [24] による外的なスペクトル形状の歪みの影響を受けにくいという長所がある。また角度依存 XMCD を用いたこの手法は、超薄膜や希薄磁性系など通常の磁化測定が困難な系に対しても適用することが可能であるため、強力な新手法である。

5. 考察：X線直線二色性 (XLD) との関連

既に述べたように、本測定で得られたスピン分布の異方性、すなわち STO 基板の場合に $d_{x^2-y^2}$ 的、LAO 基板の場合に $d_{3z^2-r^2}$ 的になるという結果は、基板応力の符号から予想される結果と一致している。輸送測定や磁化測定の結果および第一原理計算の結果からも同様の軌道占有の偏りが予想されており [2]、本研究の結果はそれを支持するものであると言える。しかし一方で、過去の X線直線二色性 (XLD) 測定の結果では、基板応力が伸張性の場合でも、Mn の $d_{3z^2-r^2}$ 軌道がより優先的に占有されるという結果が複数報告されている [5-7]。先行研究では、これは表面や基板界面における空間反転対称性の破れに起因すると結論されている [5-7]。これらの XLD 測定の結果と本研究の結果は一見矛盾するよう見えるが、XLD が「すべての Mn 3d 電子」を観測対象とするのに対し、角度依存 XMCD では「スピン分極した Mn 3d 電子」のみを観測対象としていることを踏まえると以下のように説明することができる。仮に薄膜表面の大部分の Mn 原子が反転対称性の破れにより $d_{3z^2-r^2}$ 軌道を占有しており、かつスピン分極していないとすると、XLD ではスピン分極した電子としていない電子の両方を観測するが、XAS の表面感性により、結果として表面の $d_{3z^2-r^2}$ 的な電荷分布を優先的に観測することになる。一方、角度依存 XMCD ではスピン分極した電子のみが観測対象となるため、バルクの $d_{x^2-y^2}$ 的なスピン分布を観測することになる。このようにして、両方の実験結果が矛盾なく説明される。実際、マンガン酸化物薄膜の表面においては磁気的不活性層 (dead layer) が存在することが多くの実験により示されている [28,29]。本研究での TXMCD 測定の結果は、表面の磁気不活性層と $d_{3z^2-r^2}$ 的な軌道占有との間に何らかの関係性があることを示唆する。

6. まとめ

本研究では、伸張性または圧縮性応力を加えた LSMO 薄膜における磁気異方性とスピン分布の異方性（すなわちスピン分極した Mn 3d 電子の軌道占有状態）を角度依存 XMCD および TXMCD の手法により調べた。TXMCD スペクトルの測定により、磁気双極子項 M_1 を抽出することに成功し、そこから伸張性応力（STO 基板）の場合には $d_{x^2-y^2}$ 的なスピン分布が、圧縮性応力（LAO 基板）の場合には d_{z^2} 的なスピン分布が実現していることが明らかになった。XMCD 強度の磁場方向依存性は、Stoner-Wohlfarth モデルによってよく記述できること、特に伸張性（圧縮性）応力の場合に面内（面直）磁化を安定化させるような結晶磁気異方性が存在することが示された。これらの結果は、LSMO 薄膜における磁気異方性とスピン密度分布との相関を示唆するものである。また XLD との結果の比較により、電荷分布とスピン分布との間で異方性に違いが現れること、LSMO 薄膜に形成される磁気不活性層がこの原因となっている可能性があること、が示された。

7. 謝辞

本研究における Photon Factory での XMCD 実験は、共同利用実験課題 2016S2-005 によって行われた。

引用文献

- [1] M. Imada, A. Fujimori, and Y. Tokura, Rev. Mod. Phys. **70**, 1039 (1998).
- [2] Y. Konishi *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **68**, 3790 (1999).
- [3] F. Tsui *et al.*, Appl. Phys. Lett. **76**, 2421 (2000).
- [4] C. Kwon *et al.*, J. Magn. Magn. Mater. **172**, 229 (1997).
- [5] A. Tebano *et al.*, Phys. Rev. Lett. **100**, 137401 (2008).
- [6] C. Aruta *et al.*, Phys. Rev. B **80**, 014431 (2009).
- [7] D. Pesquera *et al.*, Nat. Commun. **3**, 1189 (2012).
- [8] B. T. Thole *et al.*, Phys. Rev. Lett. **68**, 1943 (1992).
- [9] P. Carra *et al.*, Phys. Rev. Lett. **70**, 694 (1993).
- [10] J. Stöhr and H. König, Phys. Rev. Lett. **75**, 3748 (1995).
- [11] H. A. Dürr and G. van der Laan, Phys. Rev. B **54**, R760 (1996).
- [12] G. van der Laan, J. Phys. Condens. Matter **10**, 3239 (1998).
- [13] G. van der Laan, Phys. Rev. B **57**, 5250 (1998).
- [14] T. Maruyama *et al.*, J. Electron. Spectrosc. Relat. Phenom. **180**, 46 (2010).
- [15] H. A. Dürr *et al.*, Science **277**, 213 (1997).
- [16] K. Mamiya *et al.*, Radiat. Phys. Chem. **75**, 1872 (2006).
- [17] G. van der Laan *et al.*, Phys. Rev. Lett. **105**, 067405 (2010).
- [18] T. Koide *et al.*, J. Phys. Conf. Ser. **502**, 012002 (2014).
- [19] M. Furuse *et al.*, IEEE Trans. Appl. Supercond. **23**, 4100704 (2013).
- [20] 藤平 潤一ほか, 低温工学 **48** 5, 233 (2013).
- [21] G. Shibata *et al.*, npj Quantum Mater. **3**, 3 (2018).
- [22] 野中洋亮ほか, PF News **36** 2, 32 (2018).
- [23] Y. Nonaka *et al.*, Phys. Rev. B **97**, 205126 (2018).
- [24] R. Nakajima *et al.*, Phys. Rev. B **59**, 6421 (1999).
- [25] K. Horiba *et al.*, Rev. Sci. Instrum. **74**, 3406 (2003).
- [26] A. Tanaka and T. Jo, J. Phys. Soc. Jpn. **63**, 2788 (1994).
- [27] E. C. Stoner and E. P. Wohlfarth, Philos. Trans. R. Soc. London. Ser. A **240**, 599 (1948).
- [28] M. Huijben *et al.*, Phys. Rev. B **78**, 094413 (2008).
- [29] K. Yoshimatsu *et al.*, Appl. Phys. Lett. **94**, 071901 (2009).

(原稿受付日: 2018 年 10 月 9 日)

著者紹介

芝田悟朗 Goro SHIBATA



東京大学大学院理学系研究科物理学

専攻 助教

〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1

TEL: 03-5841-7621

FAX: 03-5841-7621

e-mail: shibata@wyvern.phys.s.u-tokyo.ac.jp

略歴: 2014 年 東京大学大学院理学系研究科物理学専攻 助教

最近の研究: 内殻分光を用いた酸化物磁性体・金属磁性体の電子状態に関する研究。

北村未歩 Miho KITAMURA

物質構造科学研究所 博士研究員

email: mkita@post.kek.jp

箕原誠人 Makoto MINOHARA

物質構造科学研究所 (現所属: 産業技術総合研究所電子光技術研究部門 主任研究員)

email: m-minohara@aist.go.jp

吉松公平 Kohei YOSHIMATSU

東京大学大学院理学系研究科物理学専攻, 物質構造科学研究所 (現所属: 東北大学多元物質科学研究所 講師)

email: kohei.yoshimatsu.c6@tohoku.ac.jp

門野利治 Toshiharu KADONO

東京大学大学院理学系研究科物理学専攻 (現所属: 立命館大学大学院理工学研究科 助教)

email: kadono-a@fc.ritsumeai.ac.jp

石上啓介 Keisuke ISHIGAMI

東京大学大学院理学系研究科物理学専攻 (現所属: 高輝度光科学研究センター 博士研究員)

email: ishigami.keisuke@spring8.or.jp

原野貴幸 Takayuki HARANO
東京大学大学院理学系研究科物理学専攻（現所属：株式会社新日鐵住金／総合研究大学院大学 博士課程）
email: harano.ya6.takayuki@jp.nssmc.com

高橋文雄 Yukio TAKAHASHI
東京大学大学院理学系研究科物理学専攻
email: yukio.takahashi.1120@gmail.com

坂本祥哉 Shoya SAKAMOTO
東京大学大学院理学系研究科物理学専攻（現所属：スタンフォード大学 博士研究員）
email: shoya@stanford.edu
野中洋亮 Yosuke NONAKA
東京大学大学院理学系研究科物理学専攻
email: nonaka@wyvern.phys.s.u-tokyo.ac.jp

池田啓祐 Keisuke IKEDA
東京大学大学院理学系研究科物理学専攻（現所属：東京大学物性研究所 博士課程）
email: keisuke@issp.u-tokyo.ac.jp

池震棟 Zhendong CHI
東京大学大学院理学系研究科物理学専攻
email: z.chi@qspin.phys.s.u-tokyo.ac.jp

古瀬充穂 Mitsuho FURUSE
産業技術総合研究所
email: m.furuse@aist.go.jp

淵野修一郎 Schuichiro FUCHINO
産業技術総合研究所
email: s.fuchino@aist.go.jp

岡野眞 Makoto OKANO
産業技術総合研究所
email: m-okano@aist.go.jp

藤平潤一 Jun-ichi FUJIHIRA
株式会社フジヒラ
email: jun-ichi.fujihira@fujihira-gr.co.jp

内田公 Akira UCHIDA
株式会社フジヒラ
email: akira.uchida@fujihira-gr.co.jp

渡邊和訓 Kazunori WATANABE
株式会社フジヒラ
email: kazunori.watanabe@fujihira-gr.co.jp

藤平秀幸 Hideyuki FUJIHIRA
株式会社フジヒラ
email: hideyuki.fujihira@fujihira-gr.co.jp

藤平誠一 Seiichi FUJIHIRA
株式会社フジヒラ
email: seiichi.fujihira@fujihira-gr.co.jp

田中新 Arata TANAKA
広島大学大学院先端物質科学研究科 准教授
email: atanaka@hiroshima-u.ac.jp

組頭広志 Hiroshi KUMIGASHIRA
物質構造科学研究所（現所属：東北大学多元物質科学研究所 教授）
email: kumigashira@tohoku.ac.jp

小出常晴 Tsuneharu KOIDE
物質構造科学研究所 協力研究員
email: tsuneharu.koide@kek.jp

藤森淳 Atsushi FUJIMORI
東京大学大学院理学系研究科物理学専攻 教授
email: fujimori@phys.s.u-tokyo.ac.jp

染色体の構造変換を司るタンパク質の構造を解明

平成 30 年 8 月 6 日
東北大学 大学院生命科学研究科
高エネルギー加速器研究機構

■発表のポイント

- ヒトのヒストンシャペロン HIRA の立体構造を X 線結晶構造解析によって世界で初めて解明しました。
- HIRA の三量体形成が、ヒストンや HIRA のパートナータンパク質である CABIN1 との相互作用に必須であることを発見しました。
- HIRA は転写と修復に関わる多くのタンパク質を集積して機能させる構造基盤であるプラットフォームとしての役割を担うと予想されます。

■概要

真核生物の染色体は、ヒストンと呼ばれるタンパク質に DNA が巻き付いた「ヌクレオソーム」という基本構造の繰り返しから構成されています。真核生物の遺伝情報の継承、発現、修復にはヌクレオソームの構造変換を伴います。この構造変換には、ヒストン以外にヒストンシャペロンとよばれるタンパク質群が関わってきます。東北大学大学院生命科学研究科の佐藤優花里助教（研究開始当時：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）、高エネルギー加速器研究機構の千田俊哉教授、米国ペンシルベニア大学の M. Daniel Ricketts 博士と Ronen Marmorstein 教授、仏国キュリー研究所の Dominique Ray-Gallet 博士と Geneviève Almouzni 所長らの国際共同研究グループは、ヒストンシャペロンの一つである HIRA がヌクレオソームの形成を制御する仕組みの一部を明らかにしました。本研究では、X 線結晶構造解析により HIRA の立体構造を解明し、またヒト細胞株を用いた実験により HIRA の三量体形成がヒストンや HIRA のパートナータンパク質 CABIN1 との相互作用に必須であることを証明しました。これらの発見は、癌などの疾患の発症機構の解明とその治療法の開発に繋がると期待されます。

本研究成果は、8 月 6 日 10 時（ロンドン時間、日本時間 8 月 6 日 18 時）に英国科学誌の「Nature Communications」（電子版）に掲載されました（この記事の続きは <https://www.kek.jp/ja/newsroom/attic/20180806press.pdf> をご覧下さい）。

自発的に折りたたまれるポリマー材料の開発に成功 - タンパク質の機能を模倣する新素材への応用に期待 -

平成 30 年 8 月 31 日
千葉大学
高エネルギー加速器研究機構

■概要

千葉大学グローバルプロミネント研究基幹の矢貝史樹教授を中心とした研究チームは、外部から刺激を与えなくても自ららせん状に巻き上がるポリマーの開発に成功しました。

この成果は、タンパク質の機能を模倣した新素材の開発へと発展することが期待されます。

■背景 - 超分子ポリマーとは -

分子が共有結合と呼ばれる強い結合で鎖状につながったものはポリマーと呼ばれ、プラスチックに代表されるように私たちの生活を支える重要な材料です。近年、分子が容易に脱着可能な弱い力（非共有結合）でつながることのできるポリマー（超分子ポリマー）が注目されています。超分子ポリマーは、分子が弱い力でつながっているため、外部の刺激に敏感に応答したり、結合が切断されても自己修復できるなど、従来のポリマーにはない性質を持つ次世代ポリマー材料としてその応用が期待されています。一方超分子ポリマーは、分子の鎖（主鎖）がとる形を制御しにくい、という欠点がありました。ポリマーから狙った性質や機能を引き出すためには、主鎖がとる形を制御することが非常に重要です。事実、生体ポリマーであるタンパク質は、決められた数のアミノ酸からなるにもかかわらず、様々な形に折りたたまれることで、実に多様な機能を有します。

■今後の展望

外部から刺激を与えなくとも自ら整った構造へと折りたたまれる現象は、フォールディングと呼ばれるタンパク質の折りたたみ現象に酷似しています。今後、分子の構造を少しずつ変化させることや、異なる分子を混ぜることによって、形だけでなく、認識、触媒、貯蔵、転写、エネルギー変換など、タンパク質の多様な機能までをも模倣できる新素材への発展が期待されます。そのような新素材は、分子コンピュータから医療まで、幅広い分野への応用が期待できます。

本研究の成果は、Science Advances (DOI: 10.1126/sciadv.aat8466) にて日本時間 2018 年 9 月 8 日（土）午前 4 時に公開されます。（この記事の続きは <https://www.kek.jp/ja/newsroom/attic/20180831press1-unlocked.pdf> をご覧下さい）。

鉄系高温超伝導体における新奇な磁性と超伝導の共存の観測に成功

平成 30 年 9 月 25 日

兵庫県立大学
高エネルギー加速器研究機構

■概要

一般的に超伝導状態は、磁場や磁性不純物により阻害され、場合によっては壊れてしまいます。従って磁性と超伝導は競合する関係であると考えられていますが、兵庫県立大学及び高エネルギー加速器研究機構（KEK）を中心とする研究グループは、圧力下の鉄系高温超伝導体 [1] において超伝導によって安定化される磁性相が存在することを初めて観測しました。この初観測は KEK 放射光科学研究施設フォトンファクトリーアドバンスリング（PF-AR）の高輝度 X 線を利用した核共鳴前方散乱実験により得られたものです。

本研究の成果は、2018 年 9 月 18 日に米国科学雑誌『Physical Review B Rapid Communications』でオンライン公開されました。

■研究の背景

ある化合物が超伝導状態になると、電気抵抗はゼロになり、外部から磁場を印加するとその磁場を排除します。さらに印加磁場を強くしていくと、超伝導体は磁場を排除できず、ある臨界磁場を超えると超伝導は破壊されます。従って超伝導と磁性、磁場は相反する関係であると考えられています。

ところが、2008 年に磁性元素である鉄 (Fe) を含む高温超伝導体が発見されました。この鉄系高温超伝導体は、鉄が持つ 3d 電子が磁性と超伝導の双方を担うと考えられており、国内外問わず多くの研究者からこの系の磁性と超伝導の相関が注目されています。そこで、兵庫県立大学、KEK 物質構造科学研究所、高輝度光科学研究センター、日本原子力研究開発機構、及び U.S. Naval Research Laboratory の共同研究グループは、茨城県にある KEK PF-AR と兵庫県にある大型放射光施設 SPring-8 (BL09XU) の高輝度 X 線を利用した核共鳴前方散乱実験により、鉄系高温超伝導体の一つである EuFe_2As_2 に関して、主に鉄サイトの磁性と超伝導の相関について研究を行いました（この記事の続きは <https://www.kek.jp/ja/newsroom/attic/20180925Press.pdf> をご覧ください）。

薬剤耐性の原因「薬剤汲み出しタンパク質」の排出メカニズムを解明～多剤排出トランスポーター MdfA の分子機構～

平成 30 年 10 月 1 日

高エネルギー加速器研究機構
京都大学
東京大学
岡山大学

■本研究成果のポイント

- 細菌に存在する抗菌剤等の薬剤を排出する多剤排出トランスポーターの一つ、MdfA の構造解析に成功し、初めて MdfA の外開き構造を明らかにした。
- 膜内に存在する特定の酸性残基のプロトン化が、外開き構造から内向き構造への引き金となることを明らかにした。
- 精製 MdfA タンパク質を脂質膜に組み込んだ形で初めて薬剤輸送活性を測定し、薬剤輸送に重要なアミノ酸残基を明らかにした。

■概要

細菌が薬剤耐性を引き起こす主な原因は、細菌膜上に存在する多剤排出トランスポーターと呼ばれるタンパク質が、投与された薬剤をポンプのように細菌外に汲み出してしまい、薬剤の効果を無効化することにあります。MFS (Major facilitator superfamily) 型と呼ばれる多剤排出トランスポーターは細菌上に多数存在しますが、どのように薬剤分子を認識して細菌外に排出するのか、その分子機構については明らかになっていません。

そこで高エネルギー加速器研究機構 (KEK) 物質構造科学研究所、マルティン＝ルター大学 Institut für Biochemie und Biotechnologie, HALOmem (ドイツ)、京都大学 医学研究科、東京大学 農学生命科学研究科、岡山大学 医歯薬学総合研究科ならびに自然生命科学研究支援センターからなる共同研究グループは、MFS 型多剤排出トランスポーターの一つである MdfA をモデルとした薬剤排出メカニズムの研究を行い、結晶構造解析・輸送活性実験・分子動力学シミュレーションにより、上記の薬剤分子輸送のメカニズムの詳細を明らかにしました。

本知見は、薬剤分子排出への理解を深め、将来的には、多剤排出トランスポーターの働きを抑えることで、薬剤耐性菌に対抗する治療薬の開発に貢献できると考えられます（この記事の続きは <https://www.kek.jp/ja/newsroom/attic/20181002Press.pdf> をご覧ください）。

XAFS2018に参加して

広島大学大学院理学研究科 加藤盛也

広島大学の加藤盛也と申します。私はこの度、2018年7月22日から27日までの期間にポーランドのクラコフで開催された国際会議、17th International Conference on X-ray Absorption Fine Structure (XAFS2018)に参加させていただきました。この会議は名前からもわかるようにXAFSに関する発表を主としており、測定に用いられる加速器・検出器の開発やデータ解析・理論研究、それらを用いた地質学・生化学・物質科学研究など様々な分野に携わる専門家の方々が情報交換のために集まりました。修士課程1年目の私にとっては海外で研究発表をする初めての機会だったので、とても楽しみにしていました。研究発表以外にもイベントが催されており、初日にはワークショップ、2日目には放射光施設であるSOLARISの見学ツアー、3日目にはExcursionがありました。

初日のワークショップでは、X線吸収スペクトルを計算するためのコードであるFEFFの取り扱い方について学びました。私は学部4年生のころから実験データの解釈のためにFEFFを用いてシミュレーションを行っていたのですが、周りにはスペクトルの理論計算に明るい方がおらず、マニュアル片手に手探り状態で計算を進めていました。このワークショップは、得られた計算結果をどこまで信用しているのか、自分の結果の解釈方法が正しいものなのかを確かめる絶好の機会でした。前半部分ではFEFFのインストールから基本的な使い方の説明がなされ、私が今まで行ってきた計算やその解釈がおおむね正しいことがわかって安堵しました。後半部分ではDFT計算と連携させた方法の説明があり、とても参考になりました。私は今までは文献値を元にして、そこから一部の構造を変化させたモデルで計算をしていました。DFT計算によって構造を決定し、得られた値を用いることで、より実際の状況に近い条件で



図2 見学で訪れたSOLARISの蓄積リング

の計算が可能となるという説明を受けて、ぜひとも挑戦してみたいと感じました。

SOLARISの見学ツアーでは実験ホール内を歩きました。私はSPring-8やKEK-PFの放射光実験に参加した経験があるのですが、その2つの施設と比べて空間的にゆとりがあるのに加え、窓から外の光が差し込んでいるのもあって、とても開放的に感じました。窓から外を見ると、芝生の上でキャッチボールしている人もいて、リラックスした雰囲気だったことが印象的でした。見学では、普段立ち入ることのない蓄積リングや加速器部分も見ることができて楽しかったです。

Excursionでは、世界遺産で世界最古の岩塩坑であるWieliczka Salt Mineを訪問しました。現在では稼働はしておらず、観光地となっているようです。ツアーでは、延々と階段を下りる苦行を遂行した後、坑内を探索しました。塩坑だけあって塩の結晶があちこちに見受けられました。坑内はとても広く、採掘の歴史の展示物や歴史上・宗教上の彫像が多数ありました。特に、岩塩で形成された礼拝堂は壮観でした。私は西洋の神話や宗教に詳しくないので、あくまで建築物として見ていたわけですが、信仰心を持つ人は私とは違った視点でその光景を眺めるであろうことを想像すると、それを感じ取ることでできないことが少し残念に感じました。見学自体はとても楽しかったのですが、岩塩坑はいくつものフロアから構成されており、また、ひとつひとつのフロアも十分な広さを持っているため、散策には2時間以上かかりました。そのため、Excursionが終わる頃には歩き疲れてしまいました。

私のポスター発表はExcursionの直後にありました。歩き疲れた状態で立ちながら行うポスターの説明は体力的に厳しいものがありましたが、せっかく海外で自分の研究を説明するという機会に恵まれたからには頑張ろうと奮起し

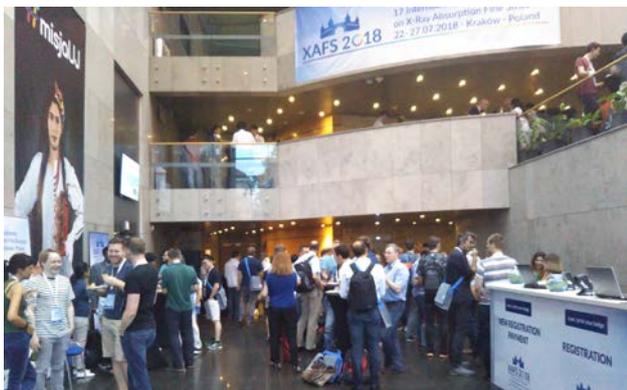


図1 会場の様子

XRM2018に参加して

放射光科学第二研究系 渡邊稔樹

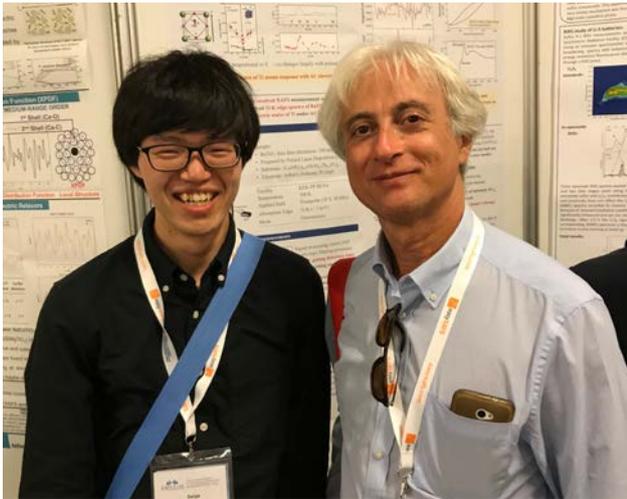


図3 ポスターセッションでの著者(左)

ました。しどろもどろの慣れない英語でなんとか自分の研究を伝え、相手の質問も何度も聞き返ししながら返答に努めました。ポスター発表を通して学べた一番のことは、伝えたいことがあり、それを必死に伝えようとすれば、相手は聴いてくれるということでした。私の英語は文法も誤りだらけで、時には単語を羅列しただけというお粗末なものでしたが、それでも研究について議論ができたことはとても貴重な良い経験となりました。特に、海外の学生さんに自分は英語が苦手なことを謝ったときに、そんなことない、きちんと伝わっていると答えてくれたときは本当に嬉しかったです。

連日行われていた口頭発表では、自身の専門分野だけでなく、理論や触媒・地質学などのセッションも聴講しました。用いている手法はXAFSで共通しているわけですが、私の研究とは分野も異なるのに加えて、言語も英語であるため、正直なところ半分も内容を理解することができませんでした。前提となる知識が不足しているため、XAFSの測定結果からどうしてそのような結論に至るのかがわかりませんでした。自分の研究分野と比較的近い内容の発表では理解しやすかったので、基礎的な学力が十全に身につけていれば、多少英語が聞き取れなくても内容の理解は可能なかもしれないと思いました。自身の学力不足にただただ恥じ入り、もっと知識を身に付けなければならないと刺激を受けました。

講演の休憩時間に海外の共同研究者との議論に参加できたのはとても有意義でした。普段は直接会って話をするという機会にはなかなか恵まれないものですから、学会期間中行動を共にできたのはとても有難いことでした。次回のビームタイムについての相談もでき、実験計画に具体性が帯びてきたのはとても嬉しかったです。

最後になりましたが、今回このような原稿執筆の機会を頂けたことに感謝いたします。本学会に参加することができて、とても勉強になりました。この経験を生かして、今後の研究生活に役立てていければと思います。

2018年8月19日から2018年8月24日の5日間、カナダサスカチュワン州最大の都市であるサスカトーンで14th International Conference on X-ray Microscopy(XRM2018)が開催された。この会議は、放射光やラボ光源などに関わらずX線を用いた顕微鏡技術に関する研究発表・議論を目的としており、2年に一度、主に放射光施設のある都市で開催されている。昨年の4月からX線顕微鏡を使った研究を始めた筆者にとっては、X線顕微鏡技術に関する昨今の動向を知るよい機会であり、参加と発表の機会を頂いたことに感謝する。

サスカトーンには、カナダ唯一の放射光施設であるCanadian Light Source (CLS)がある。町の規模は人口・広さ共につくば市とほぼ同じであり、町の中心をサウスサスカチュワン川が流れており、その川に7つの橋が架かっていることから「橋の町」とも呼ばれている。会議はその川の西側にあるダウンタウンのショッピングモールに併設されたTCU placeと呼ばれる会議場で行われた。

会議場には、会場が2つあり、そこでパラレルセッション、その外のホールでポスターや企業展示が行われた(図1)。朝に基調講演・招待講演、その後2つの会場でパラレルセッション、夕方にポスター発表の順で5日間行われた。最終日は、ポスター発表の代わりにCLSの見学ツアーがあった。

研究発表で最も多かったテーマは最近の流行である高コヒーレント光を用いたタイコグラフィーに関するものであり、全体の発表の約20%を占めた。空間分解能の高度化も進んでおり、2次元イメージングで3nm、3次元イメージングで14nmとの報告があった。また、分光法、蛍光検出と組み合わせることによって化学状態、元素マッピングが可能になってきており、3次元的にnmオーダーの観察できるようになってきている。測定対象は生体試料、電池材料などが多く、電池材料に関しては充放電を行いながら



図1 メイン会場内の様子。学会では珍しく丸テーブルが並んでいる。

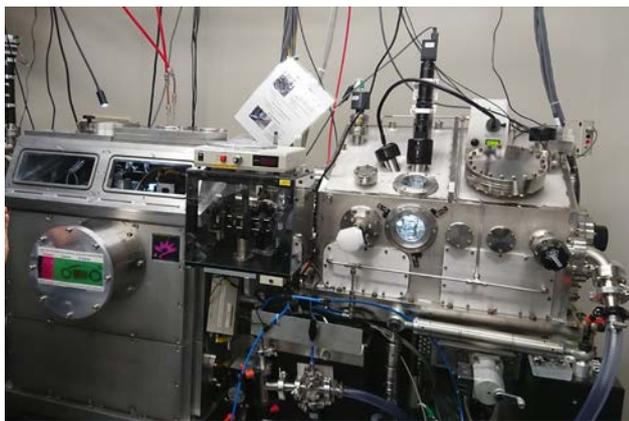


図2 CLS 内で見学した STXM ビームラインの実験チャンパー

の in situ 測定も盛んに行われている。

この会議で特に筆者の興味を引いたのは、Paul Scherrer Institute (PSI) の時分解の Computed Tomography (CT) 技術だ。その測定の早さは最短で 20 Hz にもなる。言い換えると、1 s の間に 20 の CT データ、0.1 ms の露光時間で 500 枚の 2 次元像のデータセットを 20 回も得ることができる。特に、BN 製の加熱セルの中でマグマを熱して泡が消えては現れる様子を観察した動画は衝撃的であった。この測定を行えば 3 次元の動画データを in situ で取得できるわけである。

筆者も「In situ XRM Observation of Cracking in CFRP during Nanomechanical Testing」という題でポスター発表を 4 日目の夕方に行った。NW2A に導入された高空間分解能 CT を用いて炭素繊維強化プラスチック (CFRP) の内部に発生させたき裂進展の過程を in situ で観察した結果について発表した。X 線顕微鏡の学会なので、当然だが測定手法や装置に関する質問が多かった。海外でのポスター発表はまだ 2 回目、未だに慣れないたどたどしい英語だったが何とか議論を交わすことができた。

学会最終日の午後は、CLS の見学会が行われた。CLS はサスカチュワン大学内のはずれにあり、学会会場からバスで移動した。CLS は 2005 年からユーザー利用が始まった第三世代放射光施設で電子エネルギー 2.9 GeV、蓄積電流 250 mA の比較的新しい施設である。見学者が多かったため数名のグループに分かれて実験ホール内を案内された。実験ホール内では、各ビームラインに数名のスタッフが待機しており、それぞれのビームラインについて丁寧に説明していただいた (図 2)。走査型透過 X 線顕微鏡 (STXM)、X 線回折や CT などのビームライン 4 本を見学した。スケジュールが詰まっていたためか、かなり忙しく施設を案内されたが他の見学グループの中でも一番に受付に戻ってきた。受付では、CLS のロゴの入ったマグカップやペンライトなどの様々なグッズが販売されていた。変わったものではヨーヨーなどもあった。他のグループを待つ時間があつたため、お土産として CLS のロゴの入ったペンライトを購入した。

今回の XRM2020 は台湾の新竹で行われる。新竹には台

湾の放射光施設である Taiwan Photon Source (TPS) がある。台湾といえば、今年 6 月に SRI2018 が開催されたばかりであるが、XRM 技術の発展についての研究についての新しい情報を得ることができる重要な学会であるため、また次回も参加したいと思う。

本学会に参加して感じたことは、どの分野にも共通してこれからの将来、データ処理が重要になることである。測定手法、検出器の発展によって時間・空間の高分解能化が進み、さらに分光や蛍光などの複数の手法が組み合わさることによって、データ量は指数関数的に増えていくことが予想される。これらの膨大なデータの取り扱い方についても考えていくことが、これからは重要となるだろう。

ICPA-18 参加記

量子科学技術研究開発機構 前川雅樹

2018 年 8 月 19 日から 24 日の間、18th International Conference on Positron Annihilation (ICPA-18) が、米国フロリダ州オーランドのホテル Sheraton Lake Buena Vista Resort で開催された。この会議は 3 年毎に開かれており、陽電子関連の研究者が一堂に会する最も規模の大きな国際会議である。陽電子ビームや計測手法などの装置関連研究だけでなく、金属・半導体など無機材料の原子空孔検出・電子状態測定、高分子自由体積評価などの多種多様な材料研究、原子/分子といった離散系での消滅研究、PET のようなライフサイエンス、最表面構造解析や反水素生成など、基礎科学から実応用分野まで幅広い研究テーマを包含しており、陽電子研究の幅広さが実感できる。

私達のグループからは、陽電子ビームを使った磁性研究や、KEK の低速陽電子実験施設を使った表面ポジトロニウム研究、低速陽電子回折などのテーマで発表を行った。これらの研究成果は、いずれも人類未踏の最先端領域を切り拓くものであると自負している。その一助となっているのは世界最高レベルの強度とビーム品質を有している KEK の低速陽電子実験施設であり、非常に大きな助けになっている。KEK の低速陽電子施設は、電子加速器で生成した高エネルギー制動 X 線を用いて対生成で高強度の

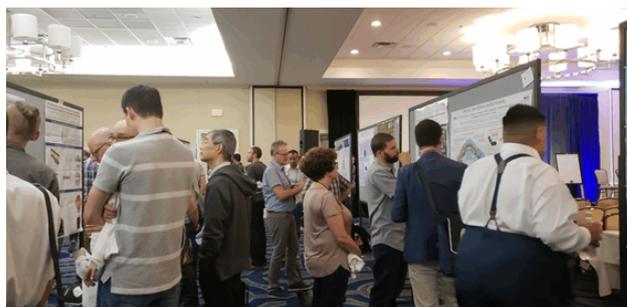


図1 ポスター会場では活発な議論が交わされた。口頭発表は約 140 件、ポスター発表が約 70 件であった。

陽電子ビームを発生させているが、近年はいくつかの研究施設で原子炉ベースの強力陽電子源が運用されている。陽電子ビーム技術の進歩と合わせ、高強度陽電子ビームを用いてポジトロニウム・ボーズ・アインシュタイン凝縮 (Ps-BEC) のような新たな基礎研究分野が発展しつつある。KEK の低速陽電子ビームも抜かりなくアップグレードを重ね、世界の潮流から取り残されないよう切に希望する。

陽電子ビーム装置の開発は、電流でいうとフェムトアンペア以下の弱い陽電子ビームを、いかに強度を落とさずに品質を高められるかという戦いであると筆者は考えている。陽電子ビームが実用的に物性研究に用いられるようになって 40 年ほどになるが、基本的にそれは変わっていない。しかしながら確実に技術革新は進んでおり、上述したような強力陽電子源や陽電子蓄積装置の実用化に伴い、以前では考えられなかったような高度な陽電子ビーム技術が提案され実用化されている。ドイツ勢からは陽電子ビームを $1\mu\text{m}$ に収束しながら 100ps のパルス幅に圧縮する装置が開発され、そのためにビームエネルギーを保ちながら静電ポテンシャルをシフトさせる新技術が紹介された。また荷重印加下での陽電子マイクロビームその場測定を、しかも 2 本の消滅ガンマ線のコインシデンス測定にて行うという装置が紹介された。これらは原子炉ベースの強力陽電子源ならではのアプリケーションである。消滅ガンマ線の検



図 2 (上) スペースシャトル・アトランティスの実機。全身を隙間なく覆っている耐熱タイルは、ペンローズ・タイルのように複雑で美しい。(下) サターンVロケットの一段目ノズル。横倒しても鎌倉の大仏に匹敵する高さがある一方、配管類は精緻で、繊細な工芸品のようである。



図 3 ウォルト・ディズニー・ワールド (WDW) の象徴、EPCOT の球体。これ自体がアトラクションであり、コースターで中を巡る間にアメリカの情報通信技術の発展の歴史が学べる。

出についても、近年は高速デジタル技術を使った高度化が著しく、LYSO2 次元ピクセルデジタイザを使ったポジトロニウム計測を行うことで CP/CPT 対称性破れの検証を行うといった研究が紹介され、基礎研究への広がりが期待される。

さてフロリダ州には、NASA ケネディ宇宙センターがあり、学会主催の見学ツアーで探訪した。展示物のメインは、アポロ計画で使用されたサターンVロケットと、スペースシャトル・アトランティスの実機である。私はスペースシャトル世代ど真ん中であり、アポロ計画は正直古すぎてピンと来ない。しかしそこはエンターテインメントの国アメリカである。ただ単にサターンロケットが置いてあるわけではない。アメリカ宇宙開発の黎明期が良くわかる短編映画を見せられた後、管制室から打ち上げの3分間を体験する。そしてゲートが開くと、サターン1段目の巨大なロケットノズルが絶妙な角度で出現！緻密に計算された演出によって、ただのロケットノズルが感動巨編に早変わりするのである。スペースシャトルも同様の演出が施され、ただの航空機に全身鳥肌が立つのである。フロリダに行った際にはぜひ訪ねてみてほしい。プレゼンテーションの重要性を感じざるを得ないと同時に、分かりやすい科学技術のアピール法として極上の教科書ではないかと思った。国民(納税者)に巨額の開発費の理由を納得してもらうために、周到な演出を用意して100%以上の魅力を引き出すのも、一種の説明責任といえるかもしれない。それにしてもすべてが桁外れの大きさであった。結局、科学技術は金なのだろうか？

そして、フロリダ州オーランドと言えば、ウォルト・ディズニー・ワールド (WDW) である。東京ディズニーランドの110倍、山手線内側の1.5倍に相当する広さを誇る世界最大のテーマパークである。腹立たしいことに(好都合なことには?)、会場となったホテルはWDWエリアに隣接しており、都市全体がリゾート気分であふれていた。

WDW は、骨太な世界観ときめ細かい演出、隅々まで行き届いた整備に支えられており、圧倒的なホスピタリティの高さを感じた。些末な問題一つも放置しないプロフェッショナルな姿勢こそが、世界中の人を引き付ける要因なのであろう。WDW のように、陽電子研究者の一人一人が奥深いホスピタリティを提供できることが出来れば、これまで陽電子と無縁であった多くの研究者を引き付けることが出来るのではないかと感じた。機会があれば、ぜひ陽電子を利用して頂き、テーマパークのようにバリエーションあふれる陽電子研究の世界に浸っていただければと思う。一緒に陽電子研究を盛り上げていただければ幸甚である。

The 2nd AOFSSR School に参加して

東京理科大学 / KEK 物質構造科学研究所 鈴木雄太

韓国の Pohang Accelerator Laboratory (PAL) において The 2nd Asia Oceania Forum Synchrotron Radiation Research (AOFSSR) School が 2018 年 9 月 9 日から 9 月 15 日にかけて開催され、PF および日本放射光学会からの推薦により参加の機会をいただきました。このスクールは放射光に関連した若手研究者・学生に向けて放射光技術とその応用の基礎的なレクチャーをすることを目的にしており、今回は 50 人ほどの参加者がありました。参加者は Ph.D candidate や放射光施設で研究する若手ポスドクが中心で、国籍は韓国、中国、台湾、オーストラリア、タイ、ニュージーランドなど様々です。日本からは筆者、物構研の若林さんを含む 3 人が受講者として参加し、KEK 構造生物学研究センター長の千田先生が講師として参加されていました (図 1)。

金海国際空港から PAL までは、バスとタクシーを乗り継いでおよそ 1 時間強の道のりです。PAL は浦項工科大学の隣に立地しており、周辺では学生の姿も見受けられました。PAL は改修がなされた直後らしく、真新しい建物が立ち並ぶ様子が印象的でした。セミナーホールの 2,3F は常



図 1 オープニングセレモニーにて



図 2 PAL-XFEL コントロールルームにて説明を聞く参加者達

設ギャラリーとなっており、放射光発生仕組みやビームラインの構造、物性解析の成果等について、CG や VR を用いたインタラクティブな展示がなされるなど、一般向けの展示にも非常に力を入れている様子でした。

さて、スクール初日は放射光・XFEL の発生やビームラインにおける光学といった基礎的な事柄の講義からスタートしました。その後 Prof. Frank de Groot による X 線吸収・光電子分光の理論と応用についての熱心な講義がなされ、夕方からは 2016 年に完成したばかりの PAL-XFEL のツアーが催されました (図 2)。ビームタイム中ということもあり実験ハッチ内の装置を間近で見ることができませんでしたが、XFEL の強みを活かしてコヒーレント硬 X 線を用いたタンパク質結晶構造解析など構造生物学向けの応用が盛んであることや、ポンプ・プローブ法による fs 時間分解実験の事例、ロボットを用いた実験の自動化を進めていることなどの説明を受けました。XFEL についての説明では、隣国で、かつ特徴も似ていることもあってか、かなり日本の SACLA を意識している様子がありました。

2, 3 日目は本格的な講義で、XAFS, PES, XRD, ARPES, SAXS, STXM, MX, XFEL 応用といった幅広いトピックについて、各分野の研究者からレクチャーを受けることができました。いずれの講義も、基本的な原理や特徴から出発し、現代における主要な関心や具体的な応用について数多くの研究成果を示しつつ紹介する、迫力あるものでした。試料の準備や実験における工夫といった詳細な実験セットアップにも言及されており、教科書や論文からは読み取りづらい実際の実験のイメージを掴むことができ、非常に有意義な講義となりました。3 日目の午後には Prof. de Groot による X 線吸収スペクトルシミュレーションの実習が実施され、CTM4XAS や Crispy といったソフトウェアを用いて実際に自分の PC で XAS を計算する演習を行いました。

講義のうち個人的に印象に残ったのは (同じ研究機関に所属するからという理由ではありませんが) KEK 千田先生による Macromolecular Crystallography のレビュー講義で、光源・検出器・ロボット・データ解析ソフトウェアの進化



図3 PLS-II BL10A STXMにおけるビームライン実習（左奥から2番目が筆者，右端が Dr. Kim）

と統合によって、20年前には研究者が不眠不休で1日7件だった測定試料数が、現在ではほぼ全自動で300件にまで加速したというお話を伺いました。PFの実験ホールを歩いているだけでもMXビームラインが洗練されていることには気づいていましたがここまでとは思わず、その進化には驚かされるばかりでした。筆者は測定やデータ解析の自動化・効率化に関連した研究に取り組んでいますが、MXはこの点で非常に先行しており、まだまだ学ぶべきところが多そうです。これらの講義中、コーヒープレイクの間も講師陣には質問の列が途切れず、参加者同士でのディスカッションも活発に行われるなど、参加者の熱意・レベルの高さを感じました。また一日の講義が終わった後も、皆で街に出て散策やお酒を楽しむなど、充実した時間を過ごしました。

4日目にはPLS-IIにおいてビームライン実習が行われました。PLS-IIは前身である Pohang Light Source を改修した第3世代放射光施設で、一周およそ282mの蓄積リングにランチを含め34本のビームラインが運用されています。参加者はXAFS、ARPES、MXといったいくつかのグループに分かれて、測定とデータ解析を行いました。筆者は透過型X線顕微鏡（STXM）のグループに入り、Dr. Namdong Kim からビームライン概要と装置諸元についての説明を受けた後、鉄酸化物ナノ粒子の試料準備および測定を行いました。同じグループには上海やタイ放射光のビームラインサイエンティスト、韓国、マレーシアのPh.D candidate が参加しており、国際色あるグループとなりました（図3）。測定データからはナノ粒子の分布の様子を明瞭に見て取ることができ、皆でディスカッションしながら一連の実験結果をまとめ、発表スライドの準備を進めました。最終日となる5日目は、まだ慣れない英語プレゼン

に苦勞しながらも無事に発表を終え、その後の Excursion と Banquet で参加者達と親睦を深めました。

あっという間の数日間でしたが、講義や実習はもちろんのこと、同年代の海外の研究者達とのディスカッションや日常にまつわる雑談は非常に刺激的で、実に学びの多いスクールとなりました。立場や考え方は異なりながらも真剣に研究に取り組む他の参加者の姿からは、負けまいと奮起させられました。スクールを通じて増えた友人達とは国際会議や実験等でまた会う機会もありそうで、再会して近況を聞くのが楽しみです。最後に、Prof. Hyun-Joon Shin をはじめとする AOFSSR School のオーガナイザーや他の参加者の皆様、また修士の学生ながらも参加の機会を与えてくださった、物構研の足立先生、小野先生をはじめとした皆様に深く感謝いたします。この学びを生かし、今後の研究に邁進してまいります。

PF 滞在記

AR-NW10A を利用したメタン活性化触媒の作用機構に関する研究

東京工業大学物質理工学院応用化学系
博士後期課程 2年 西川祐太

私は東京工業大学物質理工学院応用化学系に所属し、山中一郎教授のご指導のもと、メタン活性化触媒の作用機構を明らかにするための研究を行っています。メタンといえば都市ガスや発電のための燃料として広く利用されていますが、化学原料としての利用が大変難しい物質です。しかしその豊富な資源量と価格の安さから、多くの研究者がメタンから化成品への直接転換反応に取り組んでいます。メタンの C-H 結合を二つ切り、その二つをくっつけば、あっという間に化学工業の基幹原料として重要なエチレンが出来上がる、などと絵に描くのは非常に簡単ですが、これが本当に難しいのです。試行錯誤の末、私はメタンからエチレン、プロピレン、ベンゼンなどに直接転換可能な液体インジウム触媒を見出しました。これまで様々なアプローチでインジウムの液体金属としての触媒作用機構解明に取り組んできましたが、反応前後の触媒の情報から推察するしかありませんでした。謂わばワールドカップの出場メンバーとその試合結果だけを知らされたようなものです。結果だけでもあれこれ類推できますが、まさか優勝候補のベルギー戦で日本が2点を先制し、終了間際にカウンターで逆転を許す展開など誰が予測できたでしょうか。やはり試合は生で見たいというのが性です。ただ高温の反応条件下で触媒を分析できる手段は限られます。そこで今回、触媒が作用中の状況を観察できる強力な武器として、*Operando* XAFS 測定を行いました。

基本的な測定は以前 KEK を訪れた際に既に行っており、サンプルは大学で予めペレット成形し、現場では試料の設置と測定を繰り返します。共同研究者である北海道大学の朝倉清高教授と永松伸一博士にご指導頂き、なんとか簡単な測定ができるようになりました。とはいえ今回の測定は設置や測定の手順がこれまでと大きく異なります。*Operando* XAFS 測定に際しては朝倉先生に加えて東京医科歯科大学の和田敬広助教にご指導頂きました。

事前に打ち合わせを行った上、何度も部品の組立作業と確認実験を繰り返しました。そしてビームタイム前日、東工大からガスシステムに関する各種部品、昇温装置、MSなどを搬入し、準備万端で KEK へ向かった…はずだったのですが、何事にもトラブルは付き物。手続きに問題が発生し、管理区域への立ち入りができませんでした。放射線管理室受付の前で呆けていると、朝から彷徨う東工大の他研究室の方々に遭遇しました。どうやら自分たちだけではないようでした。東工大側の担当の先生に連絡を取り、午後

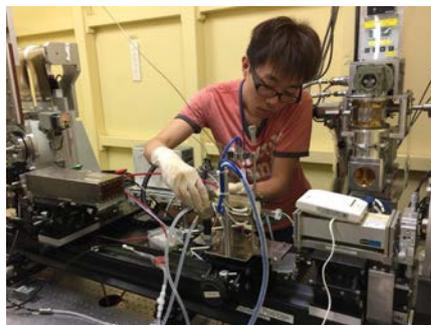


図1
反応管の設置をする著者

から入域できることとなり少しホッしました。それも束の間、ここからが勝負と気を引き締めます。ビームタイムは72時間あるとはいえ、大幅な時間ロスはかなりの手です。速やかにビームラインでガス配管工事を開始。黙々と作業を続け、夜にはガスラインが完成しました。万が一の事を考えて夜通しで可燃性気体を取り扱わないことにしていたため、ペレットで持ち込んだ別の試料を翌朝まで測定することとし、翌日の *Operando* 測定まで私は睡眠をとりました。翌早朝、早速反応管に試料を設置し、測定のための調整を行い、朝の入射終了とともに *Operando* 測定を開始しました。これまでとは異なる緊張感。一度始めれば実験は止められません。多くの方々の協力のもと、自ら見出した触媒の解析のためにこのような大掛かりな装置を稼働できていることを考えると、身の引き締まる思いです。温度を徐々に変えながらスペクトルと MS のシグナルを見つめつつ、実験は順調に進み、その日の夜10時頃、2日目の *Operando* 測定を終えて深夜測定組と交代しました。翌朝は3日目最終日、早朝から測定調整を行いましたが、いくらか慣れたようで早々に調整が終了しました。昨日同様朝の入射終了とともに測定を開始しました。昨日今日と比較できるデータが出ると、やはり気になることが出てきます。残り少ない時間、次は何をすべきかを先生方と議論し、測定しながら次の測定計画の詳細を練りました。夕方の測定中は計画に従い数時間仮眠をとり、日付が変わる前に復帰。ラストスパートです。午前4時前、測定はようやく終わりを迎えました。残るは撤収作業ですが、ガスラインや MS を設置した今回の測定は撤収も大掛かり。測定が終了した安堵感で石英反応管を割らぬよう、最後まで気が抜けません。無事に撤収作業が終了した頃には既に外は明るくなっていましたが、冷たい雨模様。どっと疲れが出るのを感じながら帰路に着きました。

日々研究の中で新しいことに挑戦する度に様々な知識や技術を吸収でき、その都度自分の成長を感じることが出来ます。殊に KEK の放射光設備を利用して様々な実験を何度も行うことは、望んでいる人全員ができることではないと思います。このような恵まれた環境で学生として研究できることに感謝し、今後自分の研究に励みたいと思います。

中小オーナー企業の経営者となって

株式会社 小池弥太郎商店 小池祐一郎

PF 関係者の皆様、はじめまして（もしくはご無沙汰しております）。小池祐一郎と申します。平成 13 年から 18 年まで、北海道大学触媒化学研究センター（現触媒科学研究所）朝倉清高先生、田旺帝先生（現国際基督教大学教授）の下で主に BL-9A, 12C を利用した XAFS の研究にて学位を取得させて頂き、18 年から 20 年まで、野村昌治先生（現 KEK ダイヤモンドフェロー）、稲田康宏先生（現立命館大学教授）の下で博士研究員として PF-AR NW10A のビームライン立ち上げを含む研究に従事させて頂きました。その後、地元の静岡で父親が経営していた建材の加工販売を行っている会社を引き継ぎ、日々忙しくさせて頂いております。今回、大学の研究室の後輩で、PF ニュースの編集委員である東京医科歯科大学の和田君からこのお話を頂き、自分が PF を卒業してから 10 年以上が経っていることに気づき、月日の流れの速さを実感しております。

学生時代、研究員時代と PF での生活を思い返しますと、初めて PF を訪れた時にカードリーダーで実験ホールへ入ることが、秘密基地にはいるような感覚でわくわくしたことを覚えております。そして、ミスによりスタッフの方々をはじめ多くの方にご迷惑をお掛けしました。夜間、予備実験で試料を電気炉でアニールした時、中に銅板が入っていることに気付かずそのままセットしたため、銅が溶け出して地絡させて、夜中に連絡を受けた時や、真空チャンバーの Be 窓を割ったときのターボ分子ポンプの音など、今思い出しても血の気が引く思いです。さて、科学の分野から 10 年以上離れており（三角関数すらあやしい？）、専門的な話はとてもできませんので、研究以外の話をしたいと思います。

PF での実験以外の思い出というとなら、食が頭に浮かびます。ビームタイムという限られた時間の中で何らかのデータを取らなければいけない、非日常的な時間の中では気分転換や、データがうまく取れなかったり、ビームダンプ（最近は無いかもかもしれませんが）の際のゲン担ぎなど理由をつけてはいろいろな店に行った記憶があります。幸い、車がありましたので、いちむら（ラーメン定食）、三徳（日替わり定食）といった近場以外にも、泉食堂（とんかつ）、高麗（キムチチゲ）、まっちゃん（餃子）、魚八（魚と揚げ物）、旭屋（刺身）等々、だいぶエンゲル係数高めの生活を送った気がします。最新の PF ニュースの KEK 周辺生活マップを見ますと、周辺にもさまざまな店舗ができていますので、時間の流れを感じました。

現在私は、静岡にて（株）小池弥太郎商店（<http://www.koike-s.jp/>）という会社を運営させて頂いております。住宅や、工場、倉庫といった様々な建物の主に鋼板を用いた金属屋根・外壁の加工・販売を行っております。材料と



図 1 理化学研究所での入射系建屋外壁及び防水改修工事（設計・監理：株式会社 内藤設計）

なる鋼板は、かつては鉄の芯材に亜鉛をメッキしたトタン（Zn）が使用されておりました。1980 年代からは亜鉛とアルミの合金メッキのガルバリウム鋼板（55%Al-1.6%Si-Zn）が広く普及し、現在もっとも一般的に使用される外装材用鋼板となっております。今年の上旬には、SPring-8 の入射系建屋の外壁に弊社の材料をご採用頂いております（図 1）。近年ではこのガルバリウム鋼板のメッキ層に Mg を添加することで耐食性を 3 倍強向上させた超高耐食鋼板（55%Al-2%Mg-1.6%Si-Zn）が登場し（<http://www.nisc-s.co.jp/products/sgl.html>）、更なる高品質化・建物のメンテナンスフリー・高寿命化が進んでおります。弊社はこれらの鋼板をメーカーから購入し、加工することで市場へ拡販する役割を担っているわけですが、今思い返せば、XAFS 討論会等で当時新日鐵の木村正雄先生（現物質構造科学研究所 放射光科学第二研究系 教授）がサビのメカニズム等のご講演をされていたことが思い出され、ユーザーとしてこれらの製品が個人的に身近に感じたりもしています。

PF での研究員から中小企業のオーナー経営者と 180° 仕事内容は変化して 10 数年が経ちました。最も大きな変化は、プレイヤーからマネージャーという立場の変化です。通常の組織であれば研究者も会社員もこの立場の変化はキャリア（経験・実績）に応じて変化していくわけですが、中小オーナー企業ではしばしば血縁のみでこのポジションに就く（就けてしまう）ケースが発生します。私自身もこのケースに当てはまりました。最初の半年は研修を兼ねて実務を行いました。当然、弊社の扱ひ商品等に専門的な知識や経験は他の社員に比べて低い状態で社員の上に立つことになりました。そのような環境で、社員、取引先様を

はじめとする周りの人々に助けられながら会社を継続できていることは、学生・研究員時代に受けた教育・経験のおかげだと実感しております。放射光や表面科学、触媒に関する専門知識を役立てる機会は残念ながら現状ではありませんが、相手を尊重して話を聞く・話す、相手に納得して(動いて)もらうために筋道たてて、客観性のある数字を用いて説明する、といったトレーニングをPFでの研究を通じて学生・研究員時代受けられたことは、大きな財産となっております。一方で、今のビジネスに対する経験が深まる中で、人に任せることの難しさを痛感するようになっており、振り返ると先生方が知識も経験も浅い私に様々な仕事を任せて下さった器の大きさに今更ながら感謝しております。

中小企業の経営者となって、先ほどの弊社加工材料のメッキ鋼板の性能向上や、日々のちょっとした発展などを目にするにつけ、自分の会社という局所的、短期的な低い目線になりがちなか中、その対極にある日本全体(本来は人類でしょうか?)のための未来への投資である高い目線での研究開発の重要性を強く感じております。本来であれば研究者・技術者として成長することで恩返しとなるわけですが、私の場合は会社を永続させ、少しでも日本の未来への投資である科学技術の発展に間接的にも寄与できるように努力することで恩返しをしていければと思っております。PFニュースに似つかわしくない、具体性の無い文章となってしまうましたが、研究・科学技術に全く携わっていない現在文系人間が書いた文章ということでお許しいただければと思います。

大柳 宏之氏, XAFS2018 にてエド・スターン賞を受賞

物構研トピックス
2018年8月7日

7月27日、ポーランドのクラコフ市で開催された17th International Conference on X-Ray Absorption Fine Structure (XAFS2018)において、2018年度 International X-ray Absorption Society (IXAS)の表彰式が行われ、PFを利用した研究によりKEK物構研協力研究員の大柳宏之氏がロナルド・フラーム教授(ベルク大学ヴッパータール)とともに、IXAS最高の賞であるThe Edward Stern Outstanding Achievement Award(エド・スターン賞)を受賞しました。

この表彰は、XAFSおよび関連分野の科学技術に関する研究開発、理解増進等において顕著な成果を収めた者について、その功績を讃えることにより関連科学技術に携わる研究者の意欲の向上を図り、XAFSおよび関連分野の科学技術水準の向上に寄与することを目的としています。3年毎に開かれるXAFS国際会議において授与されます。

受賞対象となったのはフォトンファクトリー(PF)で行われた「局所構造と機能の関係性」に関する一連の研究です。入射角を制御しながら結晶を光軸の周りに回転させ



図1 XAFS2018の会場

て蛍光検出を行う独自の偏光依存XAFS測定法による研究業績が、国際的に評価されました。

同氏は、1980年代に故松下正教授とともにPF初のXAFS専用ステーションBL-10Bを立ち上げ、当時筑波大学に在籍していた白川英樹教授(2000年ノーベル化学賞受賞)と共同でポリアセチレンの導電性と局所構造の関係を明らかにしたのをはじめ、ミオグロビンのヘム鉄局所構造とスピン状態など、多くの成果をあげました。また同氏は、同手法を高温超伝導体単結晶へ適用し、超伝導転移温度近傍で格子異常現象を見出しました。この成果は高温超伝導研究者にも大いに注目を集め、PFを利用したローマ大学との国際コラボレーションが世界を先導することとなりました。

最近では、電子励起下での「構造と機能」に注目して光誘起構造変化や中間状態に関する一連の研究を行っています。

同氏はIXASの執行委員会の幹事/会計、副議長、議長として長年国際的に貢献してきたことも評価されました。産総研退職以後、KEK協力研究員およびNSRL(中国科学技術大学)客員教授として現在も積極的に後進の指導にあたり、研究活動や国際会議の支援にも携わっています。(物構研トピックス(<https://www2.kek.jp/imss/news/2018/topics/0727XAFS2018EdStern/>)より転載)

産業利用促進運転日実施報告

放射光科学第二研究系 君島堅一

既にご案内しておりますように、KEK物構研フォトンファクトリー(PF)では、機構の予算による運転とは別に放射光加速器の運転を検討しています。これは、産業利用の推進を主な目的に、施設利用等の利用料収入を用いて運転時間の延長を行なうものです。平成30年度1期(2018年5~7月期)には、試験的に運転期間を延長して産業利用促進運転日(産促日)制度の検討を行いましたので報告致します。

実施内容:2018年6月30日午前9:00~7月6日午前9:00(6

日間)。この期間は施設利用料収入で運転経費を賄い、有償による利用を優先しました。対象は、PFリングのビームラインで、PF-ARは含まれません。一部のビームラインでは、随時利用が可能になるように実施期間を分散させて運用されました。

実施実績：10社・2団体（12課題）で、13ビームタイム／のべ290時間の利用がありました。その利用料収入の80%が運転経費に充当されましたが、これはPFリング（運転に必要な線形加速器の経費を含む）の運転を約5.5日延長する分に相当します（現時点での光熱費単価に基づく）。

今回の産促日運転の実施結果により、利用料収入による運転時間の延長の可能性が示されるとともに、いくつかの課題が明らかになりました。ユーザーの立場からは、通常の施設利用との区別、対象の利用制度の制限などや、利用手続きが煩雑になるなどの問題が指摘されました。また、利用料収入配分の問題など、継続的に実施するには更なる検討が必要です。なお、有償施設利用の希望がなかったビームライン・ビームタイムでは大学共同利用一般課題（G課題・S課題等）にビームタイムが配分されました。KEK-IMSS-PF全体として、大学共同利用を圧迫することなく企業等による有償施設利用の時間の確保と共に、企業のPF利用による大学共同利用への還元につながったと考えております。

来年度以降の実施については、今回得られた知見を基に実施の有無を含めて検討を進めているところであります。産促日利用者や所外担当者を含めたビームライン担当者へは、本制度についてのアンケートを実施し意見を収集しているところでありますが、その他のユーザーの方々につきましても本制度へのコメント・ご意見を頂きたいお願い申し上げます。ご意見は、物質構造科学研究所・放射光科学研究施設 主幹秘書室 (Email: pf-sec@pfqst.kek.jp) まで、お願い申し上げます。

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。

2018年8月～10月に紹介されたPF トピックス一覧

- 8.7 【プレスリリース】染色体の構造変換を司るタンパク質の構造を解明
- 8.7 【物構研トピックス】大柳 宏之氏, XAFS2018にてエド・スターン賞を受賞
- 8.8 【トピックス】PF 構造物性グループの田端 千紘さんが, ICM2018 ポスター賞を受賞
- 8.24 【物構研トピックス】多摩六都科学館にて「イマドキの生物学者になってみよう」を開催
- 9.7 【物構研トピックス】KEK 一般公開 2018 開催報告

- ～フォトンファクトリー編, 研究本館ほか編
- 9.10 【プレスリリース】自発的に折りたたまれるポリマー材料の開発に成功ータンパク質の機能を模倣する新素材への応用に期待ー
- 9.19 【物構研トピックス】慶應大学と信州大学の研究グループ, タンパク質でサッカーボール型分子を創出
- 9.20 【物構研トピックス】東北大ほか, GaN 高速トランジスタの表面電子捕獲のナノスケールその場分析にはじめて成功
- 9.26 【プレスリリース】鉄系高温超伝導体における新奇な磁性と超伝導の共存の観測に成功
- 10.1 【KEKのひと #37】夫婦の信念「生涯第一線の研究者でいたい」坂部知平(さかべ・のりよし)さん
- 10.2 【プレスリリース】薬剤耐性の原因「薬剤汲み出しタンパク質」の排出メカニズムを解明～多剤排出トランスポーター MdfA の分子機構～
- 10.15 【物構研トピックス】徳島大学の真板 准教授、新しいタンパク質の結晶化法「高分子での結晶スポンジ法」に成功
- 10.19 【トピックス】「大学共同利用機関シンポジウム 2018～最先端研究大集合～」に出展

新しく博士課程に進級された学生さんへ PF ニュースであなたの修士論文を紹介しませんか？ 博士論文も歓迎します！

PF ニュースでは、新しく博士課程に進級された学生さんの修士論文の研究内容を紹介するコーナーを設けております。PF で頑張って実験されている博士課程の学生さん自身の紹介、また、その研究内容をアピール出来る場です。我こそはという博士課程の学生さんは、ぜひ下記のフォーマットに従い、あなたの修士論文の研究を紹介して下さい。また今年、修士課程から博士課程へと進学する学生さんが所属される研究室の指導教員の方は、積極的に学生さんに PF ニュースへの投稿を勧めて頂ければ幸いです。

【投稿資格】PF/PF-AR のビームラインを利用した研究に関する修士論文を執筆し、修士を取得した方。

【投稿フォーマット】

1. 修士論文タイトル
2. 現所属、氏名、顔写真
3. 連絡先メールアドレス（希望者のみで可）
4. 修士号取得大学、取得年月
5. 実験を行ったビームライン
6. 論文要旨（本文 1000 文字以内）
7. 図 1 枚

【原稿量】

図とテキストで刷り上り 1 ページ（2 カラム）。

【提出物・提出方法】

文字データと図表データをメール添付で PF ニュース編集委員会事務局・高橋良美 (pf-news@pfqst.kek.jp) までお送り下さい。

SAXS-UG 紹介

京都工芸繊維大学・櫻井伸一 (SAXS-UG 代表)
 奈良先端大学院大学・上久保裕生 (SAXS-UG 副代表)
 名古屋工業大学大学院・山本勝宏 (SAXS-UG 副代表)
 京都大学大学院・奥田浩司 (SAXS-UG 副代表)

1. はじめに

小角散乱ユーザーグループ (SAXS-UG) は、その前身である酵素回折計 UG, (旧) 小角散乱 UG が合併され、2012 年 4 月に発足しました。2013 年 4 月に BL-9C の SAXS 利用が終了したことにともない、その運営を担っていた BL-9C SAXS ユーザーチームが合流し、現在の体制となりました。酵素回折計 UG の活動を含めると、35 年間という、PF-UG の中でも非常に長い歴史を持つ UG です。会員数は現時点で約 90 名、北は北海道大学から南は長崎大学に至るまで、また、会員の研究分野は無機、金属、生物・生命関連、有機、高分子など、ハードからソフトマターに至るまで、多岐にわたっています。昨年 1 年間の発表論文登録数は 59 報 (原著論文 53 報、総説・解説記事 6 報) であり、図 1 に示した新 SAXS-UG 発足以来の登録論文数の年次推移を見ると、増加傾向にあることがわかります。小角散乱ビームライン (BL-6A, BL-10C, BL-15A2) の全有効課題数が 120 ですので、そのほぼ半数の論文発表が昨年 1 年間で発表されている計算で、1 つの課題有効期間 2 年の間に課題あたり平均 1 報、という現状です。このように、比較的高いアクティビティに加えて、施設側が行う SAXS ビームラインの高度化に対してユーザー側からも積極的に意見提供や具体的なプランの提案を行うだけでなく、実際に測定解析技術開発を共同で行うなど、その高度化に強くコミットしています。本稿では、このような種々の活動の中から、次の 3 つの項目に絞ってご紹介致します。

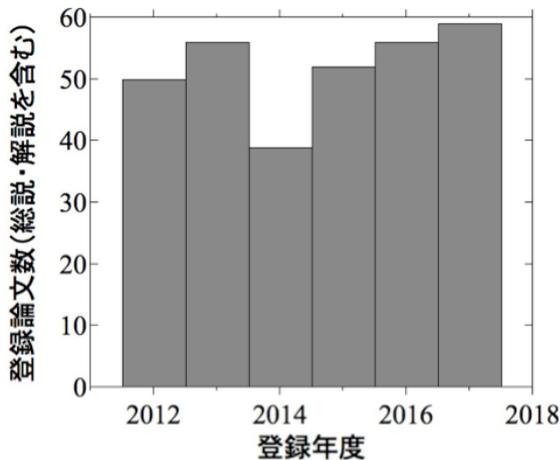


図 1 SAXS-UG にかかる登録論文数の年次推移

- ① データサイエンスに基づく材料寿命予測のための X 線散乱計測の高度化
- ② 蛋白質の構造 / 相互作用解析を指向した μ 流路型自動サンプリングシステムの導入
- ③ Tender X 線利用による GISAXS (微小角入射 X 線小角散乱) 測定技法の高度化

2. データサイエンスに基づく材料寿命予測のための X 線散乱計測の高度化

近年、様々な分野で人工知能 (AI) による将来予知が可能となってきています。将来予知に関係のありそうなたくさんの情報をもとに、現象発現との因果律を分析して、その現象が起こる確率を割り出します。AI による予知が高精度であっても、多くの場合、因果律に特別の理由がなく、種々の条件が重なった時に、当該の結果が発現する確率が高まる、という類いのものです。科学的に因果律を解明する必要があることは疑う余地はありませんが、支配的因子が数多く存在する場合は、決定論的な予知はほぼ不可能で、確率的予知がむしろ重要であるということだといえます。このような場合、データサイエンスに基づく手法が有効であることが知られています。時々刻々変化するパラメータを将来予知のシミュレーションの初期値として使うことによって、近未来の予知精度を高めることができます。このような手法は「データ同化」と呼ばれ、典型的な成功例が近年の天気予報の的中精度の向上です。我々はこのようなデータ同化手法を材料破壊に応用することを目指して、ビームライン担当者のご協力を得ながら、データサイエンスの研究者と材料破壊の計算機シミュレーションを専門に研究を行なっている研究者とともにチームを結成して、このプロジェクトを進めています。

本プロジェクトでは、一軸延伸や圧縮変形、曲げ変形といった外的刺激が加えられた時の構造変化を X 線散乱測定によってつぶさに調べ、破壊につながる構造変化のプロセ

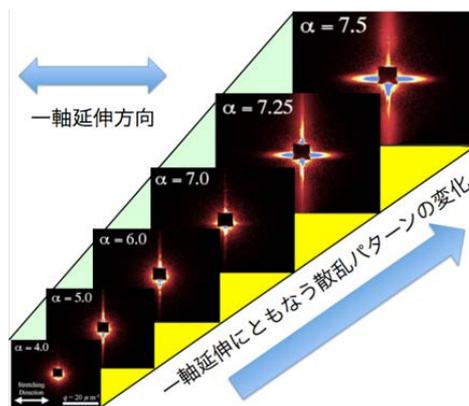


図 2 高分子材料の一軸延伸にともなう超小角 X 線散乱パターンの変化

ス（X線散乱パターンの変化（一例として図2に示す））を明らかにします。このようなプロセスは無数にあるかもしれませんが、案外、少ないかも知れません。いずれにしても、破壊に至るルートはたった一つしかないという訳ではないことは確かです。そこで、材料を変形させて行く過程でX線散乱パターン（小角散乱と広角散乱の同時測定）を時分割測定することが、本プロジェクトのねらいですが、同時に、色々な場所における構造変化（空間分布）も明らかにする必要があります。つまり、X線散乱パターンの時間変化と空間分布を同時に調べる必要がある訳です。

本プロジェクトはまだ始まったばかりで、外部資金を獲得するために今年度の科研費に申請を予定しています。材料の破壊予知・寿命予測は、安全・安心な社会構築のために非常に重要ですが、本プロジェクトで目指す目標が達成されれば、色々な重要課題に応用が期待されるため、施設側で進められる技術開発に対してUG側も積極的に関与し、測定解析法の確立に向けて共同で高度化を進めているところです。

3. 蛋白質の構造 / 相互作用解析を指向したμ流路型自動サンプリングシステムの導入

蛋白質溶液試料を対象としたSAXS（BioSAXS）は、各国の放射光施設でのしぎを削って整備が進められています。近年、欧米ではサイズ排除クロマトグラフィー（Size Exclusion Chromatography, SEC）とSAXSを組み合わせたSEC-SAXSが盛んに行われるようになってきました。当初は、SECによって精製された直後の試料を用いることで経時的に形成される凝集体を完全に除去し、単分散の蛋白質からの散乱を測定することを目的としていました。溶液を流しながら測定することによって、放射光によるサンプルの放射線損傷を低減することが可能となり、相乗的な効果によってデータの信頼性は劇的に向上しました。さらに、低ノイズ・大面積の時間分解測定可能なPhoton counting 検出器の導入が進むにつれ、SECから溶出される試料を高い時間分解能で連続測定することで、凝集体の除去のみならず、分離が難しい混合溶液中の単一複合体に由来する散乱曲線を分離することが可能となり大きな成果を上げています。現在では、SEC-SAXSが測定できる環境は放射光におけるBioSAXSにおいて必須の要件となっています。PFにおいても、2016年から本格的にSEC-SAXSシステムがユーザーに公開され、現在では多くの課題で標準的に利用されるようになってきました。一方で、比較的弱い相互作用によって形成される、複数の蛋白質からなる複合体においては、交換反応が速い解離会合平衡状態にあるため、SECによって複合体からなる画分を得ることが原理的に困難となります。このような弱い相互作用で関連付けられた分子複合系を対象とした構造・相互作用解析を実現するため、2013～2017年度新学術領域研究（動的秩序と機能）においてμ流路を活用した自動サンプリングデバイスが開発され、現在、PFへの導入が進められています。このデバイスは（i）Inlet channel, （ii）Mixing channel, （iii）

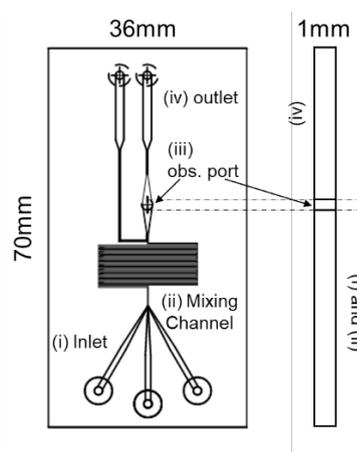


図3 自動サンプリング用μ流路デバイス

Observation port, (iv) Outlet channelの4カ所の部位によって構成されています（図3）。

図3に示したデバイスは3つのInlet channelを有しており、シリンジポンプによって流速を制御した3種類の溶液を独立に流入させることができます。このデバイスの最大の特徴は（ii）Mixing channelにあります。この部分には、全長400mmの流路（内容量8μL）が折り畳まれています。溝の幅が狭い場合、複数の溶液を1つの流路に合流させると、合流した後もこれらの溶液は混ざり合うことなく層流を形成し、Mixing channelの最下流では各層の幅に比例した割合で溶質が拡散混合した混合溶液が調製されます。各層の幅はInlet channelに流し込まれる溶液の送液速度に比例するため、この混合比率は流速によって任意の値に制御することができます。デバイスの特性上、微小溶液をただそれだけ取り出し測定に供することはできません。代わりに、一般に販売されているシリンジポンプ等を用い、μ流路に送液する各溶液の流速を変調させることで、希釈率を連続的に変化させた溶液を調製することが可能です。調製された溶液は、順次、観測部に流入し散乱曲線を連続測定することで、結果的に、様々な濃度比率で混合された溶液の散乱曲線を多数収集することができます。図4に一方に蛋白質溶液、他方に緩衝液を送液した2液混合の実例を示します。

図4aのようにシリンジポンプの流速を調整すると、35分から120分間に元の蛋白質溶液の5%から97.5%に線形的に順次希釈された溶液が調製され、それに応じた散乱曲線の変化が測定されます（図4b）。散乱曲線の積分強度を計算し時間に対してプロット（図4c）すると、実測値と予測値の間の残差の割合は、低濃度領域で±2%程度、高濃度領域で±0.5%であることがわかります。一般的な分注機の精度は数%であることを考えると、高い精度で濃度が制御されていることがわかります。使用した蛋白質溶液はたかだか100μL程度であるにもかかわらず、85点にも上る溶液からの散乱曲線を自動的に収集することができます。ここで示した例は、単に蛋白質を希釈しただけの結果ですが、異なる複数の蛋白質を送液すると、散乱曲線

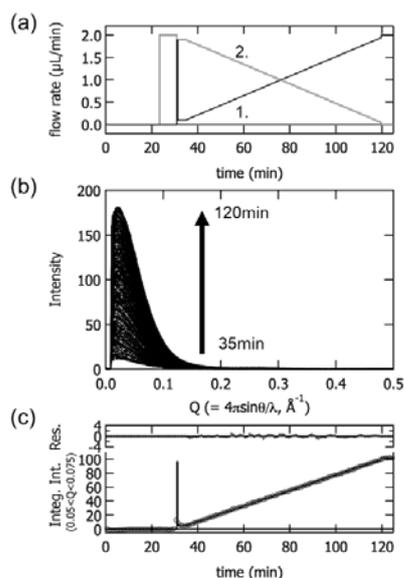


図4 2液混合の応用例。(a) Pump 流速チャート, (b) 自動サンプリングされたオプアルブミン由来の散乱曲線, (c) 積分強度の時間依存性。

を指標とした多次元の滴定実験が可能になり、複合体の構造のみならず、その相互作用（解離定数 K_d ）を評価できます。すでに、PFにおいても SEC-SAXS の測定例は数多く蓄積されつつありますが、複合体が遊離蛋白質と分離できない観測例（ K_d が μM 程度の場合）が数多く見受けられます。このような場合、複合体の構造評価のみならず、その相互作用の解析が可能な本システムは極めて有効であるといえます。現在、施設側で同システムの導入が進められており、UG 側から技術供与を行っています。

4. Tender X 線利用による GISAXS 測定技法の高度化

2014 年に BL-15A2 がアンジュレータービームラインとしてリニューアル整備され、SAXS としては比較的長いカメラ長と tender X 線 (2.1-4 eV) の利用が可能になりました。tender X 線は、主に GISAXS 法 (PF では 2009 年頃の BL-11B での Imaging Plate を使った試行実験が発端) を活用した薄膜の構造解析に利用され、通常の硬 X 線 (8-14 keV 程度) にはない、tender X 線の利点を活かした研究が実施できます。tender X 線を用いた GISAXS の特長は、①薄膜表面から膜厚方向への深さ分解構造解析 (ソフトマテリアルに対して数 10 nm ~ 数 100 nm の分解能) が可能、②臨界角が比較的大きいことに起因して入射角を大きく取れることからフットプリントが小さくなる、③X 線吸収端近傍の元素選択的構造解析が可能 (BL-15A2 では K 吸収端として以下の元素 P: 2.145 keV, S: 2.472 keV, Cl: 2.822 keV, K: 3.068 keV, Ca: 4.038 keV を対象にすることが可能)、ということが挙げられます。

2014 年秋の利用開始から現在に至る間、施設側によりいくつかの問題点が改善され、利便性が向上してきました。さらに先端研究への展開を目指した高度化を行うため、外部資金の獲得へ向けて、ユーザー有志と施設側との共同

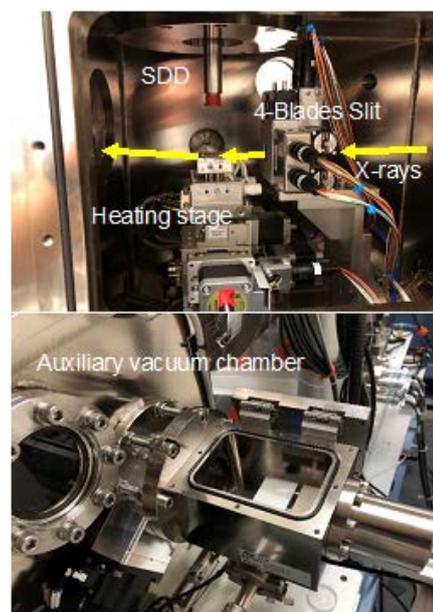


図5 新試料チャンバー。上：試料部，下：試料交換用の副室。

研究が始動し、めでたく 2017 年度から科研費（基盤研究 B: 17H03065）を原資にした高度化をスタートさせました。まず第 1 に従来の試料チャンバーを撤去し新たにデザインしたチャンバーを導入しました (図 5)。新チャンバーにはサンプル交換用の副室を含むサンプル交換機構が装備されており (図 5 下)、試料交換時はこの小さな副室のみを大気開放すればいいため、交換効率が向上しています。また、上流からの寄生散乱をカットするために試料の直前に 4 象限スリットを設置し、試料ステージの稼働軸の増強も行いました。さらに、上記の tender X 線を用いた GISAXS の特長③の利点を活かす目的で、新チャンバーには、真空対応のシリコンドリフト検出器 (SDD) を導入し、蛍光 X 線の同時検出も可能にしました。ユーザーとの協力で、試料加熱用のヒートステージも以前より導入されており、新チャンバーでも引き続き利用することが可能です。これらのハードウェアのアップグレードに加えて、測定制御ソフトウェアの改良も計画されています。試料面の自動アライメント機能、X 線の斜入射角の自動スキャン機能、異常分散測定のための測定エネルギーの自動スキャン機能などは既実装されていますが、さらなる自動化に向けてユーザー側の利用経験等を施設側のシステム開発にフィードバックさせるなど、UG 側からも積極的に情報提供、意見交換を行っているところです。

5. 今後の活動

小角散乱 UG では、12 月 20, 21 日に PF 研究会「多様な物質・生命科学研究に広がる小角散乱～多(他)分野の小角散乱を学ぼう！」を企画しています。小角散乱は、無機・金属・生物・高分子など、多くの分野でなくてはならないツールとなっています。しかしながら、初心者ユーザーからは「小角散乱はとっつきにくい」という

意見を聞くことが多く、また、ともすれば、熟練したユーザーでも小角散乱の種々の有効性を活かすことなく、お決まりの解析方法で満足し研究を慢性的に続けている、という場合があることも否めません。他の分野で実施されている実験やデータ解析の方法、あるいは研究内容自体を知ることが、研究者自身の今後の研究展開の刺激になり、研究の殻を打ち破る良い機会になると思いますが、なかなか、ご自身が所属しておられる学協会以外の研究発表の場には、参加する機会がなく、そのような機会を作ることも困難です。分野の裾野の広がり著しい小角散乱グループのユーザーが一堂に会して、たくさんの研究発表を一つの講演会場で座して聴講できる機会を持つことは、非常に有効であると考え、このPF研究会を企画致しました。小角散乱UGの次世代を担う若手～中堅の研究者の方々、ならびに、当UGで中核的な役割を担っておられる研究者の方々に加え、中性子を用いた研究を展開しておられる研究者にも講演をお願いしております。皆様の積極的なご参加を心よりお待ちしております。

人事異動・新人紹介

	発令年月日	氏名	現職	旧職
(退職)	H30. 9. 30	酒巻真粧子	群馬大学大学院理工学府 准教授	物構研 放射光科学第一研究系 助教
	H30. 9. 30	吉田 尚史	横浜市立大学	物構研 放射光科学第二研究系 研究員
	H30. 10. 31	田端 千紘	京都大学複合原子力科学研究所 助教	物構研 放射光科学第二研究系 研究員

(採用)

小林 淳 (こばやし じゅん)

1. 平成 30 年 8 月 16 日
2. 物構研構造生物学研究センター・研究員
3. デンカ生研株式会社・研究員
4. タンパク質のX線結晶構造解析 / 酵素反応速度論解析
5. 色々なタンパク質の構造を見たいです。
6. Love the life you live, Live the life you love.
7. ウーパールーパーの飼育, TV ゲーム

守屋 俊夫 (もりや としお)



1. 平成 30 年 9 月 1 日
2. 物構研構造生物学研究センター
特任准教授
3. マックスプランク分子生理学
研究所 上級研究員
4. クライオ電顕・単粒子解析計算
手法論
5. KEK から日本の構造生物学の発展に貢献したいです。
6. “つくばで電顕”

- | |
|--|
| 1. 着任日 2. 現在の所属・職種 3. 前所属・職種
4. 専門分野 5. 着任に当たっての抱負 6. モットー
7. 趣味 (写真, 5 番～7 番の質問は任意) |
|--|

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 18-1

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。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、放射光施設における基盤技術開発のリーダーとして、放射光ビームの安定供給と高性能化のための基盤技術の開発研究を主導する。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。(月給制または年俸制)

5. 公募締切

平成30年12月17日(月) 17:00必着

6. 着任時期

平成31年4月1日以降の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:平成31年1月中旬以降(決定次第機構Webサイトに掲示します)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 (http://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

(3)発 表 論 文 リ ス ト----- 和文と英文は別葉とすること。

(4)着 任 後 の 抱 負

(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)本人に関する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(jin11@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 18-1 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 18-1 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: jin11@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) 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) e-mail: jin11@ml.post.kek.jp

11. その他

研究(職務)内容に関する、より詳細な背景説明は、以下を参照してください。

<https://www2.kek.jp/imss/employment/IMSS18-1-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 (<http://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 18-2

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。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、放射光施設における非結晶性の複雑物質を研究対象としたX線散乱ビームライン群(単結晶や粉末結晶の回折を対象とするビームラインを除く)を統括するリーダーとして、それらのビームライン群の整備と高度化を主導し、共同利用を推進する。

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。(月給制または年俸制)

5. 公募締切

平成30年12月17日(月) 17:00必着

6. 着任予定時期

平成31年4月1日以降の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:平成31年1月中旬以降(決定次第機構Webサイトに掲示します。)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 (http://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

(3)発表論文リスト----- 和文と英文は別業とすること。

(4)着任後の抱負

(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)本人に関する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、それぞれ別業として各業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(jnil@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18-2 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18-2 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: jnil@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

放射光科学第二研究系 研究主幹 千田 俊哉 TEL: 029-879-6178/029-879-6193 (ダイヤルイン) e-mail: toshiya.senda@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: jnil@ml.post.kek.jp

11. その他

研究(職務)内容に関する、より詳細な背景説明は、以下を参照してください。

<https://www2.kek.jp/imss/employment/IMSS18-2-1.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 (<http://www2.kek.jp/geo/>)

2018年度量子ビームサイエンスフェスタ (第10回 MLF シンポジウム / 第36回 PF シンポジウム) 開催のお知らせ

PF シンポジウム実行委員会委員長 小野寛太
MLF シンポジウム実行委員会委員長 横尾哲也

前号の PF ニュース (36-2 号) にて既にお知らせしておりますが、2019年3月12日(火)、13日(水)の日程で、2018年度量子ビームサイエンスフェスタ(第10回 MLF シンポジウム、第36回 PF シンポジウム)をつくば国際会議場(エポカルつくば)にて開催致します。

1日目は午前中に全体会場での基調講演を開催し、午後はポスターセッションの後にパラレルのトークセッションを開催する予定です。2日目には昨年同様 MLF シンポジウム及び PF シンポジウムをパラレルで開催します。また、前日の3月11日(月)の夕方からユーザーグループミーティングを開催いただくことも可能です。

このシンポジウムは、施設側スタッフ、ユーザーの皆様が一堂に会することのできる機会ですので、是非ご参加下さいませようお願い申し上げます。プログラムや詳細に関しては、12月中旬にホームページにて公開し、申込受付を開始する予定です。

詳細が決まり次第ホームページや PF ニュース等で皆様にお知らせ致します。

<開催概要>

主催:物質構造科学研究所, J-PARC センター, 総合科学研究機構 (CROSS), PF- ユーザアソシエーション (PF-UA), J-PARC MLF 利用者懇談会

会期:2019年3月12日(火)、13日(水)

会場:つくば国際会議場 (エポカルつくば)

茨城県つくば市竹園 2-20-3

問い合わせ先:量子ビームサイエンスフェスタ事務局
Email: qbs-festa-office@pfiqst.kek.jp

2018年度量子ビームサイエンスフェスタ実行委員:

大井元貴 (JAEA), 大石裕 (KEK 物構研), 大原高志 (J-PARC MLF 利用者懇談会 / JAEA), ◎小野寛太 (KEK 物構研), 河村聖子 (J-PARC MLF 利用者懇談会 / JAEA), 君島堅一 (KEK 物構研), 鬼柳亮二 (JAEA), 高木宏之 (KEK 加速器), 野澤俊介 (KEK 物構研), 花島隆泰 (CROSS), 林田洋寿 (CROSS), 引田理英 (KEK 物構研), 伏信進矢 (PF-UA / 東大), 船守展正 (KEK 物構研), 松浦直人 (CROSS), 山下翔平 (KEK 物構研), ○横尾哲也 (KEK 物構研), 米村雅雄 (KEK 物構研) (◎委員長, ○副委員長, 50 音順, 敬称略)

PF 研究会「多様な物質・生命科学研究に 広がる小角散乱?多(他)分野の小角散 乱を学ぼう!」開催のお知らせ

放射光科学第一研究系 五十嵐教之
放射光科学第二研究系 清水伸隆

小角散乱は、無機・金属・生物・高分子など、多くの分野でなくてはならないツールとなっている。しかしながら初心者のユーザーからは「小角散乱はとっつきにくい」という意見を聞くことが多く、また、ともしれば、熟練したユーザーでも小角散乱の種々の有効性を活かすことなく、お決まりの解析方法で満足し研究を慢性的に続けている、という場合もあるだろう。他の分野で実施されている実験やデータ解析方法、あるいは研究内容自体を知ることは、今後の研究展開の刺激になり、研究の殻を打ち破る良い機会になる。分野の裾野の広がりが著しい小角散乱グループのユーザーが一堂に会して、たくさんの研究発表を一つの講演会場で座して聴講できる機会を持つことは、非常に有効であると考え、今回の PF 研究会を企画した。

<開催概要>

会期:2018年12月20日(木)~21日(金)

会場:4号館セミナーホール, 3号館セミナーホール

提案代表者:櫻井伸一 (京都工芸繊維大学)

所内世話人:清水伸隆, 五十嵐教之 (物構研 PF)

ホームページ:<https://www2.kek.jp/imss/pf/workshop/kenkyukai/20181220/index.html>

申込方法:上記 HP の「参加申し込みフォーム」からお申し込み下さい

問い合わせ先:事務局 pf-kenkyukai@pfiqst.kek.jp

PF 研究会「高繰り返し極短パルス光源の 未来」開催のお知らせ

放射光科学第一研究系 足立純一

高繰り返しのパルス光が得られるシンクロトロン放射光源は、輝度とは異なる指標で先端光源を定義することが可能であり、「極短パルス」も指標のひとつである。光のパルス幅を短くすることは、物性・反応を支配する超高速の物質の電子状態の解明・制御、化学反応ダイナミクスや材料物性の発現機構の解明につながる技術であり、高繰り返し化は多くの高精度なデータを限られた時間で取得するのに有効である。フェムト秒 X 線を発生する SASE 方式の XFEL は常伝導 (~ 100 Hz) から超伝導 (~ 1 MHz) へと

進化しつつあり、一方で、固体レーザーで駆動される高次高調波発生においても、アト秒光パルスの高繰り返し化に向けた研究が進んでいる。本研究会では、シンクロトロン放射光、FELで培った技術（光源と利用）に、レーザーの最先端のトレンドを取り込むことで、新しいサイエンスを切り拓く高繰り返し極短パルス光源の将来を展望したい。また、現在のシンクロトロン光源技術、および既存施設（PFリング、PF-AR）のアップグレードによって、上記の将来光源につながるシナリオが描けるのかも合わせて議論したい。

<開催概要>

会期：2019年1月22日（火）～23日（水）

会場：研究本館 小林ホール

提案代表者：羽島良一（量子科学技術研究開発機構）

所内世話人：足立純一（物構研 PF）

ホームページ：<https://www2.kek.jp/imss/pf/workshop/kenkyukai/20190122/index.html>

申込方法：上記HPの「参加申し込みフォーム」からお申し込み下さい

問い合わせ先：事務局 pf-kenkyukai@pfqst.kek.jp

2018年度タンパク質結晶構造解析初心者講習会開催のご案内

放射光科学第二研究系 加藤龍一
放射光科学第二研究系 松垣直宏

近年のタンパク質結晶構造解析技術の進歩により、精製タンパク質を得ることができれば比較的迅速に立体構造を決定することができ、原子レベルでの生物学研究を展開できる時代になっています。しかし、多くの生命科学系の研究者にとって、タンパク質の構造決定は実際以上に難しいものと考えられています。

そこで、高エネルギー加速器研究機構・構造生物学研究センターでは、タンパク質の立体構造決定に興味はあるが実際にはされたことがない初心者の方を対象に、初心者向け講習会を開催します。これからタンパク質の構造解析を始めたいと思われる方に、どのようにして結晶化を行うか、どのように放射光ビームラインでデータ収集を行い、どのように構造解析を行うか、について講義と参加型体験を行って頂きます。また、創薬等先端技術支援基盤プラットフォームに参加頂くことで、これらを有効活用する方法についても概説します。

主催：

- 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
- 創薬等先端技術支援基盤プラットフォーム（BINDS）

日時：2019年1月31日13:00から2月1日15:00まで

会場：高エネルギー加速器研究機構 つくばキャンパス
募集対象と人数：

本講習会は、X線結晶構造解析のご経験がないか、ほとんどない方を対象としています。主に BINDS にご興味をお持ちの研究者の方に参加頂けることを期待していますが、大学院生や学部学生等でX線結晶構造解析に興味をお持ちの方もお申し込み下さい。なお、学生の方は指導教員に了解を得て頂きますようお願いいたします。結晶構造解析のご経験者で BINDS での支援の詳細をお知りになりたい方におかれましては、本講習会へのお申し込みではなく、下記事務局までお問い合わせ下さい。

募集人数は15人程度です。基本的に先着順ですが、応募者多数の場合など、できるだけ本企画の趣旨に沿うよう、こちらで参加希望者の調整をさせて頂く場合があります。

参加費：講習会は無料。ただし、交通費等の補助はなし。

申込方法：講習会ホームページ (<http://pfwww.kek.jp/tanpaku/shokyu/7th.html>) の「参加申込フォーム」からお申し込みください。

お問い合わせ先：タンパク質結晶構造解析ビームライン事務局 (px_office@kek.jp)

Nanotech CUPAL 第8回放射光利用技術入門コース XAFS 研修会開催のお知らせ

Nanotech CUPAL KEK 事務局

Nanotech CUPAL (Nanotech Career-UP Alliance) は平成26年度に始まった文部科学省補助事業に基づき形成された、TIAと京都大学を中核とするコンソーシアムです。その中でKEKは、PFを利用した放射光分析に関する講習会を実施しており、初級者向けの入門コースでは、毎回一つの手法に軸足を置いて、基礎の習得から一連の実験・解析までを座学講習と実習のプログラムにより行っています。今回の第8回放射光利用技術入門コースではXAFSを対象とし、平成31年1月-3月期に開催予定です。

KEKのCUPAL事務局のホームページ (<http://cupal.kek.jp>) にて募集要綱を掲載するとともに参加者を募集中です。ご興味のある方は是非参加をご検討ください。なお、下記の5機関及びアライアンスを構成する10の大学の若手研究者(*)には旅費(日当及び必要に応じて宿泊費を含む)の補助を行うことができます。

日時：平成31年1月-3月頃

日程、及びプログラムの詳細が確定次第、ホームページにてお知らせいたします。

定員：10名(予定)

場所：KEK-PF

受講料：大学、公的機関等の方は無料

アライアンス機関の若手研究者には旅費を補助



<http://cupal.kek.jp>



前回の解析演習（上）と実習（下）の様子

きます。企業の方は事務局にご相談ください。

問合せ先: kek-cupal@pfiqst.kek.jp

(Nanotech CUPAL KEK 事務局)

申込締切: 平成 30 年 12 月 14 日 (見込)

但し、定員になり次第締め切らせて頂きます。尚、開催日程が決まりましたら、改めて申込締切を設定いたします。

※アライアンス機関:

産総研, NIMS, KEK, 筑波大, 京都大の 5 機関及び、北海道大学, 東京理科大学, 東京大学, 東京工業大学, 早稲田大学, 立命館大学, 京都工芸繊維大学, 同志社大学, 大阪大学, 神戸大学。

若手研究者:

博士課程後期学生, もしくは博士号取得後 10 年以内又は同程度の研究経歴を有する 40 歳未満の研究者 (医学系分野では 43 歳未満)

2019 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

専攻長 放射光科学第二研究系 岸本俊二

物質構造科学専攻では 2019 年 4 月入学の博士課程 (5 年一貫制) 及び 3 年次編入学の最終募集を行いません。いずれも願書は 12/7 (金) ~ 12/13 (木) 必着で、書類選考と面接で選抜します (面接日は 1/22 (火) です)。興味のある方は是非ご検討下さい。詳細は <http://kek.soken.ac.jp/sokendai/admission/general/> をご覧下さい。

2019 年度前期 フォトン・ファクトリー研究会の募集

物質構造科学研究所長 小杉信博

物質構造科学研究所放射光科学研究施設 (フォトン・ファクトリー) では放射光科学の研究推進のため、研究会の提案を全国の研究者から公募しています。この研究会は放射光科学及びその関連分野の研究の中から、重要な特定のテーマについて 1 ~ 2 日間、高エネルギー加速器研究機構のキャンパスで集中的に討議するものです。年間 6 件程度の研究会の開催を予定しております。

つきましては研究会を下記のとおり募集致しますので応募下さいませようお願いします。

記

1. 開催期間 2019 年 4 月 ~ 9 月
2. 応募締切日 2018 年 12 月 21 日 (金)
[年 2 回 (前期と後期) 募集しています]
3. 応募書類記載事項 (A4 判, 様式任意)
 - (1) 研究会題名 (英訳を添える)
 - (2) 提案内容 (400 字程度の説明)
 - (3) 提案代表者氏名, 所属及び職名 (所内, 所外を問わない)
 - (4) 世話人氏名 (所内の者に限る)
 - (5) 開催を希望する時期
 - (6) 参加予定者数及び参加が予定されている主な研究者の氏名, 所属及び職名
4. 応募書類送付先 (データをメールに添付して送付)
放射光科学研究施設 主幹秘書室
Email: pf-sec@pfiqst.kek.jp TEL: 029-864-5196

なお、旅費、宿泊費等については実施前に詳細な打ち合わせのうえ、支給が可能な範囲で準備します (1 件当り上限 30 万円程度)。開催日程については、採択後に PAC 委員長と相談して下さい。また、研究会の報告書を KEK Proceedings として出版していただきます。

予 定 一 覧

2018 年

- 12 月 19 日 PF, PF-AR 平成 30 年度第二期ユーザー運転終了
- 12 月 20 ～ 21 日 PF 研究会「多様な物質・生命科学研究に広がる小角散乱?多(他)分野の小角散乱を学ぼう!」
(4 号館セミナーホール/3 号館セミナーホール)
- 12 月 21 日 2019 年度前期フォトン・ファクトリー研究会応募締切

2019 年

- 1 月 9 ～ 11 日 第 32 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム(福岡国際会議場)
- 1 月 22 ～ 23 日 PF 研究会「高繰り返し極短パルス光源の未来」(研究本館小林ホール)
- 1 月 31 日～2 月 1 日 2018 年度タンパク質結晶構造解析初心者講習会(つくばキャンパス)
- 2 月 15 日 PF 平成 30 年度第三期ユーザー運転開始
- 3 月 12 ～ 13 日 2018 年度量子ビームサイエンスフェスタ/第 10 回 MLF シンポジウム/第 36 回 PF シンポジウム
(つくば市・つくば国際会議場)
- 3 月 29 日 PF 平成 30 年度第三期ユーザー運転終了

※最新情報は <http://pfwww.kek.jp/spice/getschtxt> をご覧下さい。

運転スケジュール(Dec. 2018～Mar. 2019)

E : ユーザー実験 B : ボーナスタイム
M : マシンスタディ T : 立ち上げ
MA : メンテナンス HB : ハイブリッド運転

12月	PF	PF-AR	1月	PF	PF-AR	2月	PF	PF-AR	3月	PF	PF-AR
1(土)			1(火)			1(金)			1(金)		
2(日)			2(水)			2(土)			2(土)		STOP
3(月)	E	E	3(木)			3(日)			3(日)	E	
4(火)			4(金)			4(月)			4(月)		T/M
5(水)			5(土)			5(火)			5(火)		
6(木)	B	B	6(日)			6(水)			6(水)	B	
7(金)	M	M	7(月)			7(木)			7(木)		M
8(土)			8(火)			8(金)			8(金)	E	(5G)
9(日)			9(水)			9(土)			9(土)		
10(月)	HB	E	10(木)			10(日)			10(日)		
11(火)			11(金)			11(月)			11(月)		
12(水)			12(土)			12(火)			12(火)	STOP	
13(木)			13(日)			13(水)	T/M		13(水)		
14(金)	M		14(月)			14(木)			14(木)	T/M	
15(土)			15(火)	STOP	STOP	15(金)		STOP	15(金)		
16(日)			16(水)			16(土)			16(土)		
17(月)	HB	E	17(木)			17(日)	E		17(日)		
18(火)			18(金)			18(月)			18(月)	HB	
19(水)			19(土)			19(火)			19(火)		
20(木)			20(日)			20(水)	B		20(水)		STOP
21(金)			21(月)			21(木)			21(木)	M	
22(土)			22(火)			22(金)			22(金)		
23(日)			23(水)			23(土)			23(土)		
24(月)			24(木)			24(日)	E		24(日)		
25(火)			25(金)			25(月)			25(月)	HB	
26(水)	STOP	STOP	26(土)			26(火)			26(火)		
27(木)			27(日)			27(水)	B		27(水)		
28(金)			28(月)			28(木)	M		28(木)		
29(土)			29(火)						29(金)		
30(日)			30(水)						30(土)	STOP	
31(月)			31(木)						31(日)		

スケジュールは変更されることがありますので、最新情報はPFホームページ(<http://www2.kek.jp/imss/pf/>)の「PFの運転状況／長期スケジュール」(<http://www2.kek.jp/imss/pf/apparatus/schedule/>)をご覧ください。

第 104 回物質構造科学研究所運営会議議事次第

日時：平成 30 年 9 月 13 日（木） 10:00 ～

場所：高エネルギー加速器研究機構 管理棟大会議室

【1】第 101 回～第 103 回議事要録について

【2】審議事項

- (1) 特定有期雇用職員の雇用計画について（特別助教・特定人事：放射光）
- (2) 学術研究フェローの雇用計画について（特任教授・特定人事：放射光）
- (3) 学術研究フェローの雇用計画について（学術フェロー・特定人事：放射光）
- (4) 物構研組織の改組と人事計画について
- (5) 教員公募（教授 1 名：放射光・基盤技術）
- (6) 教員公募（教授 1 名：放射光・X線散乱）
- (7) 教員公募（特任助教 1 名：中性子）
- (8) 教員公募（准教授 1 名：ミュオン）
- (9) 教員公募（特任助教 1 名：ミュオン）
- (10) マルチプローブ共同利用実験課題年次評価について
- (11) 放射光共同利用実験審査委員会補欠委員について
- (12) ミュオン共同利用実験審査委員会補欠委員について
- (13) 平成 30 年度後期ミュオン共同利用 S1 型実験課題審査結果について
- (14) 2018B 期 J-PARC/MLF における大学共同利用中性子実験課題（一般利用・産業利用）の審査結果について
- (15) 2018B 期 J-PARC/MLF における大学共同利用ミュオン実験課題（一般利用・産業利用）の審査結果について

【3】報告事項

- (1) 人事異動
- (2) 研究員の選考結果について
- (3) 平成 30 年度前期放射光共同利用実験課題審査結果（条件解除）について
- (4) 平成 30 年度放射光共同利用実験課題審査結果（P 型）について
- (5) Fast Track Proposal の運用状況について
- (6) 物構研と PSI との MOU 締結について
- (7) MLF BL23（POLANO）一般課題公募開始について
- (8) 協定等の締結について（国内機関関係）（資料配付のみ）
- (9) その他

【4】報告事項（配布資料のみ）

- (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 102 ～ 103 回は書面審議。

物構研談話会

日時：11/6（火） 15:00 ～

題名：Long-wavelength crystallography – Exploiting anomalous dispersion from light el

講師：Armin Wagner 氏（Diamond Light Source）

日時：11/21（水） 10:00 ～ 11:00

題名：軟 X 線高分解・高回折効率ホログラフィック回折格子及びそれを応用した分光器の開発

講師：小池雅人氏（QST 量子ビーム科学研究部門 関西光科学研究所 光子科学部）

「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 放射光科学研究施設内
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

PF に初めて来所してから早いもので 11 年が経ちました。最初に来た時は後輩の実験のお手伝いだったので、まさか自分が 10 年以上も PF にお世話になり、さらには PF ニュースの編集委員になるとは思いもよりませんでした。

学生時代から 1~3 週間程度のビームタイムを年数回利用させてもらっています（よく考えてみると軽い短期留学のような生活みたいです）。そんな長期間の出張も PF に来ると不思議と体だけは動いて実験をしていた記憶があります（頭は動いていたかは定かではありませんが・・・）。

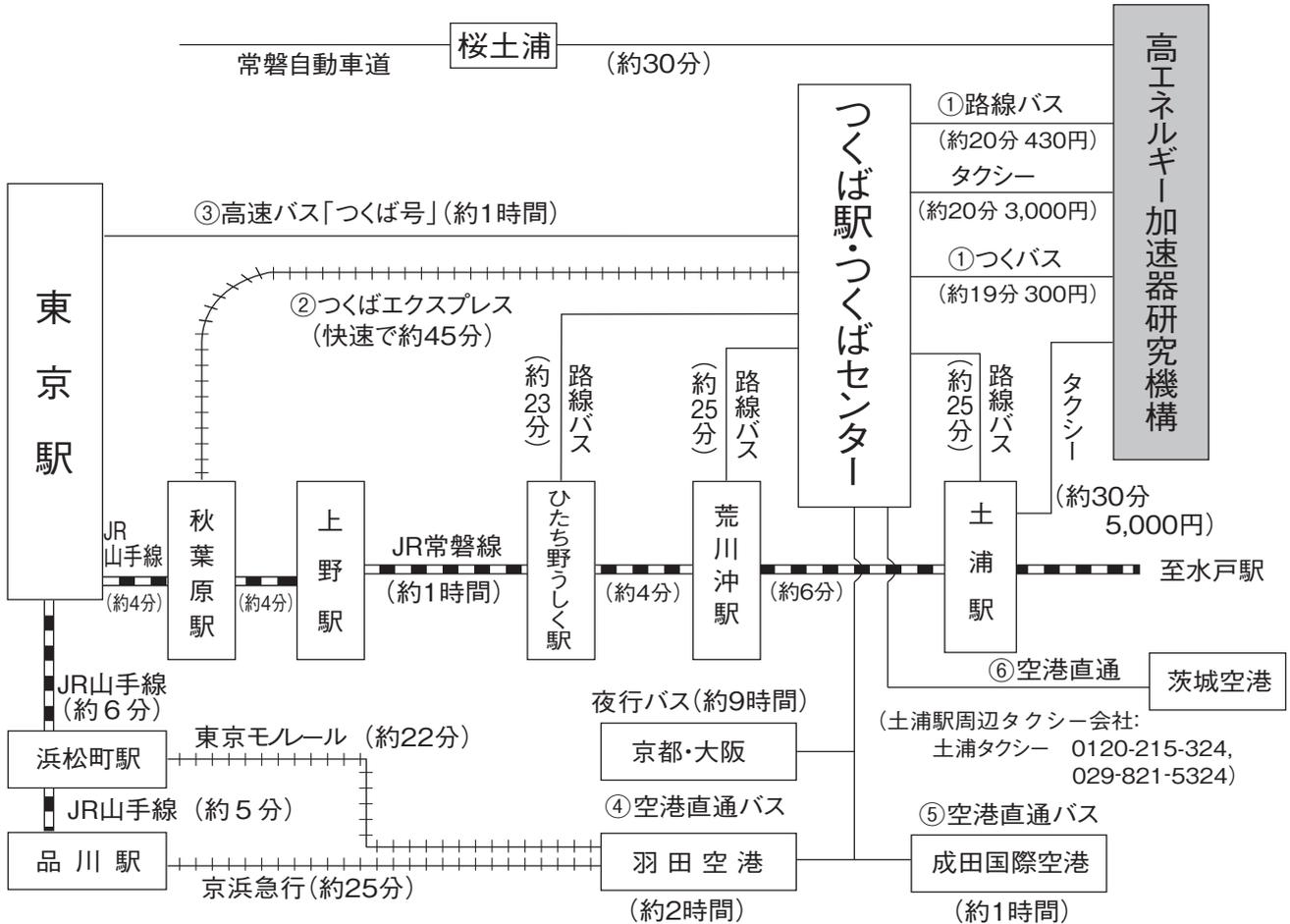
そんな生活の中にあっただのが PF ニュース。ビームラインや休憩室で手に取り、表紙の力の入った図に感心しつつ「最近の研究から」を真面目に読み、「学会参加報告・滞在記」で刺激を受け、巻末情報の「宿泊施設、周辺生活マップ」で外の世界に心躍らせました。

さて、いざ、作る側に回ると読む側とは大きく異なるのが世の常。誰に記事を頼めばいいのか・・・この人はどうだろうか・・・読者が読みたいものは・・・等々悩むものの、最終的には「自分が読みたいもの」で推薦になってしまいます。もし、面白くなかったり、有益な情報ではなかったりしたら我々の責任であります。是非、自薦他薦問わず声を上げていただけると幸いです。(T.W)

平成 30 年度 PF ニュース編集委員

委員長	川崎 政人	物質構造科学研究所		
副委員長	前川 雅樹	量子科学技術研究開発機構		
委員	足立 伸一	物質構造科学研究所	石毛 亮平	東京工業大学物質理工学院
	宇佐美徳子	物質構造科学研究所	小松 一生	東京大学理学系研究科
	坂野 昌人	東京大学大学院工学系研究科	島田 美帆	加速器研究施設
	高木 秀彰	物質構造科学研究所	田中 宏和	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	土井 教史	新日鐵住金(株)先端技術研究所
	中尾 裕則	物質構造科学研究所	水谷 健二	横浜市立大学生命医科学研究科
	若林 大佑	物質構造科学研究所	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	物質構造科学研究所		

KEK アクセスマップ・バス時刻表



高エネルギー加速器研究機構

(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：2018. 10. 23)

①つくばセンター ↔ KEK (2018年3月16日改定)

関東鉄道バス 所要時間 約20分 運賃 440円 (KEK—土浦駅間の料金は780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	6:55	7:13	C8A	× 10:00	× 10:15	71	14:00	14:21	HB	17:55	18:13
C8	× 7:20	× 7:35	HB	10:00	10:18	HB	14:25	14:43	HB	18:25	18:43
HB	7:30	7:48	HB	10:25	10:43	HB	14:55	15:13	C8	× 18:30	× 18:45
C8	× 7:50	× 8:05	C8	10:55	11:10	71	15:15	15:36	HB	18:55	19:13
HB	7:55	8:13	HB	10:55	11:13	HB	15:25	15:43	71	19:10	19:31
18	○ 8:10	○ 8:32	71	11:00	11:21	HB	15:55	16:13	HB	19:25	19:43
18	× 8:12	× 8:34	HB	11:25	11:43	C8	× 16:25	× 16:40	HB	19:55	20:13
HB	8:30	8:48	HB	11:55	12:13	HB	16:25	16:43	C8	× 20:05	× 20:20
71	8:50	9:11	HB	12:25	12:43	71	16:35	16:56	HB	20:25	20:43
HB	8:55	9:13	HB	12:55	13:13	HB	16:55	17:13	HB	20:55	21:13
71	× 9:07	× 9:28	C8	○ 13:20	○ 13:35	C8	17:00	17:15	HB	21:25	21:43
HB	9:25	9:43	HB	13:25	13:43	HB	17:25	17:43	HB	21:55	22:13
C8	○ 9:35	○ 9:50	HB	13:55	14:13	71	17:50	18:11	HB	22:20	22:38
71	× 9:55	× 10:16	C8	× 14:00	× 14:15	C8	× 17:55	× 18:10			

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	6:21	6:46	71	10:18	10:45	HA	14:46	15:11	HA	18:16	18:41
71	×6:28	×6:55	C8	○10:25	○10:45	C8	×14:50	×15:10	71	○18:28	○18:55
HA	6:51	7:16	HA	10:46	11:11	HA	15:16	15:41	HA	18:46	19:11
HA	7:16	7:41	C8	×10:55	×11:19	71	×15:28	×15:55	C8	×18:45	×19:15
71	○7:28	○7:55	HA	11:16	11:41	HA	15:46	16:11	HA	19:16	19:41
71	×7:28	×8:00	HA	11:46	12:11	71	○15:58	○16:25	C8	×19:30	×19:50
HA	7:46	8:11	C8	11:50	12:10	HA	16:11	16:36	HA	19:46	20:11
HA	8:11	8:36	HA	12:16	12:41	HA	16:41	17:06	HA	20:11	20:36
HA	8:46	9:11	HA	12:46	13:11	71	16:58	17:25	HA	20:41	21:06
C8	×8:50	×9:14	HA	13:16	13:41	HA	17:11	17:36	18	×20:50	×21:10
C8	○9:05	○9:25	71	13:23	13:50	C8	×17:20	×17:45	HA	21:11	21:36
HA	9:21	9:46	HA	13:46	14:11	HA	17:41	18:06	HA	21:41	22:06
C8	×9:25	×9:49	HA	14:16	14:41	C8	×17:50	×18:15			
HA	9:46	10:11	C8	○14:20	○14:40	18	○17:55	○18:15			
HA	10:16	10:41	71	14:28	14:55	71	×17:58	×18:30			

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 [1,190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]

(2018年7月1日現在)

運賃 東京駅←つくばセンター(←筑波大学) : 1180円 (交通系電子マネー利用で下りは1130円, 上りは950円※)
 ※~2019年3月31日のキャンペーン期間は800円
 @ミッドナイトつくば号 東京駅→筑波大学 : 2200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・土曜のみ都営浅草駅, 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: 1,850円 (2014年4月1日改定)

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
9:15	9:25	9:30	11:15
11:15	11:25	11:30	13:15
14:45	14:55	15:00	16:45
16:05	16:15	16:20	18:05
17:45	17:55	18:00	19:45
19:20	19:30	19:35	21:00
20:45	20:55	21:00	22:15
22:05	22:15	22:20	23:35

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: 2,200円 (2015年11月16日改定)

圏央道と東関東自動車道を経由するルートに変更になり, 所要時間が最短で55分まで短縮されます。
 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。KEKの売店でも購入可。
 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

(2018年10月28日改定)

所要時間: 約1時間 運賃: 1,030円 問い合わせ 029-836-1145 (関東鉄道)

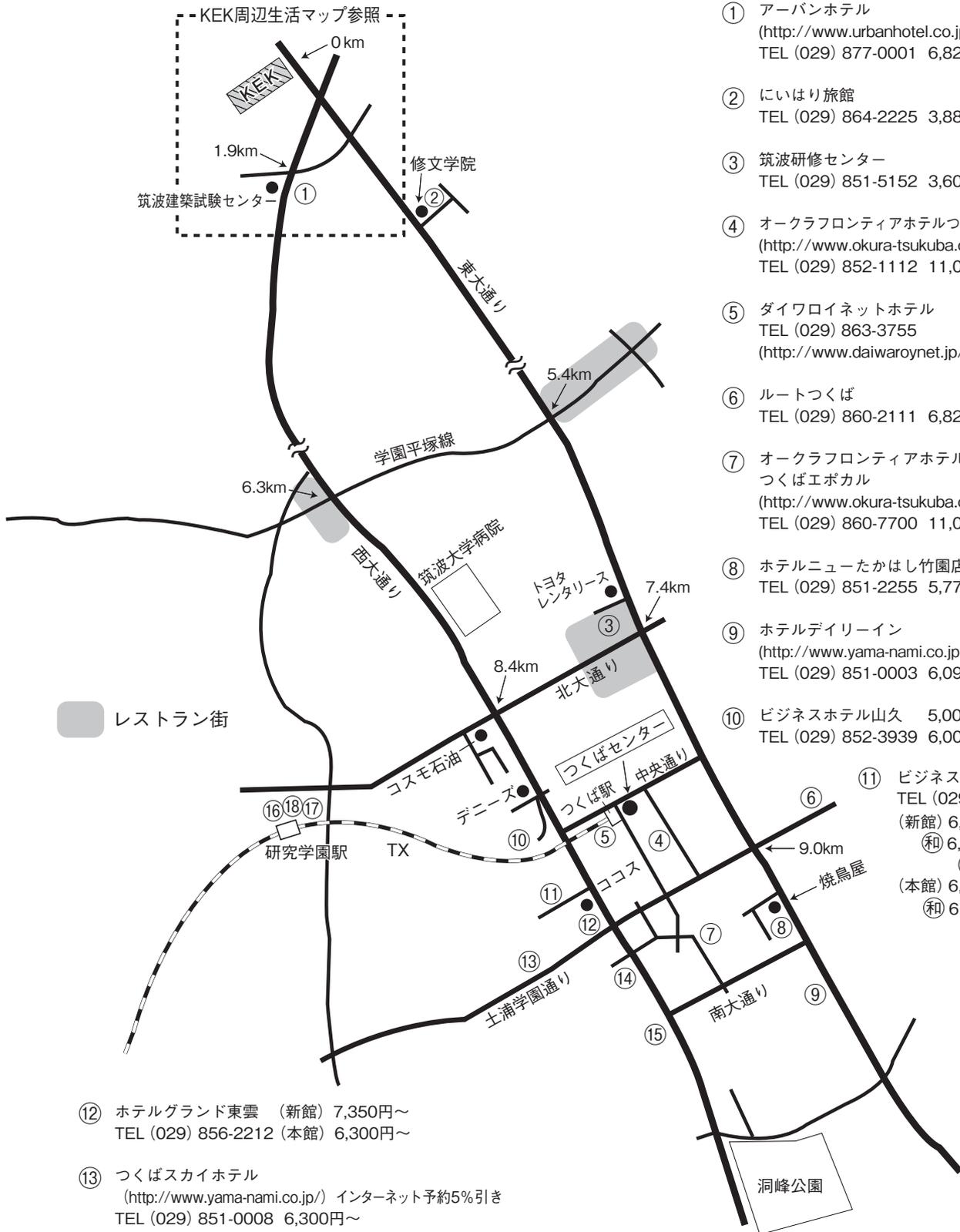
10:50	11:50
17:20 [18:20]	18:20 [19:20]

9:00	10:00
14:40 [16:35]	15:40 [17:35]

※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。
 【 】内は月・水・金・日の時刻

つくば市内宿泊施設

(確認日:2018. 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 にいはり旅館
TEL (029) 864-2225 3,885円～
- ③ 筑波研修センター
TEL (029) 851-5152 3,600円～
- ④ 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～
- ⑤ ダイワロイネットホテル
TEL (029) 863-3755
(<http://www.daiwaroynet.jp/tsukuba/>)
- ⑥ ルートつくば
TEL (029) 860-2111 6,825円～ (朝食付)
- ⑦ 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～
- ⑧ ホテルニューたかはし竹園店
TEL (029) 851-2255 5,775円～
- ⑨ 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
- ⑩ 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)
- ⑪ 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)

- ⑫ ホテルグランド東雲 (新館) 7,350円～
TEL (029) 856-2212 (本館) 6,300円～
- ⑬ 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～
- ⑭ 学園桜井ホテル
(<http://www.gakuen-hotel.co.jp/>)
TEL (029) 851-3011 6,878円～
- ⑮ 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)

- ⑯ ホテルベストランド
(<http://www.hotel-bestland.co.jp/>)
TEL (029) 863-1515
- ⑰ 東横イン
(<http://www.toyoko-inn.com/hotel/00228/>)
TEL (029) 863-1045
- ⑱ ホテルマークワン
(<http://www.mark-1.jp/>)
TEL (029) 875-7272

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

●レストラン（内線 2987）

2015年4月～は事前予約（5日前）による営業のみ。

●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）。

※営業時間に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（内線3907）

弁当、パン、食料品、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 9:00～19:00

●宅配便情報

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-〇〇〇（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〇〇〇（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@pfqst.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 (2018. 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) 河内 (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
BL-27B	●	放射性試料用X線実験ステーション	宇佐美
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			
SPF-A3	●	全反射高速陽電子回折 (TRHEPD) ステーション	望月
SPF-B1	●	汎用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) 鈴木昭夫 (東北大)

【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

放射光科学研究施設平面図

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 BL6 ☎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



実験準備室

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

電源棟

☎3881 原田(健) 平野(広)	☎5630 東 山口(孝)
☎3880	

PF-AR平面図

PF-AR共同研究棟

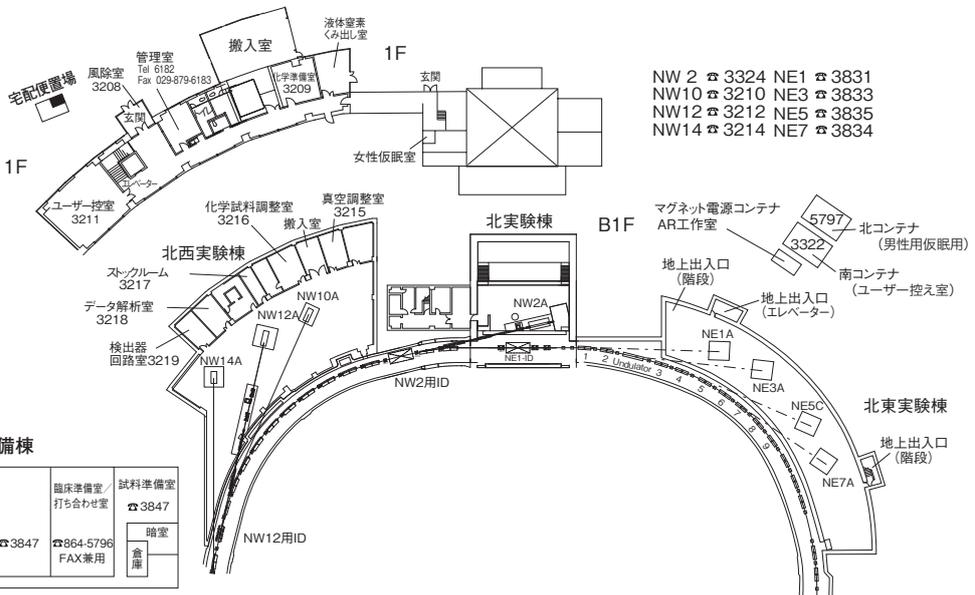
深谷、福本、高木(社)、阿部(裕)、LEE
6185.6186
Fax 6187

PF-ARコンテナ

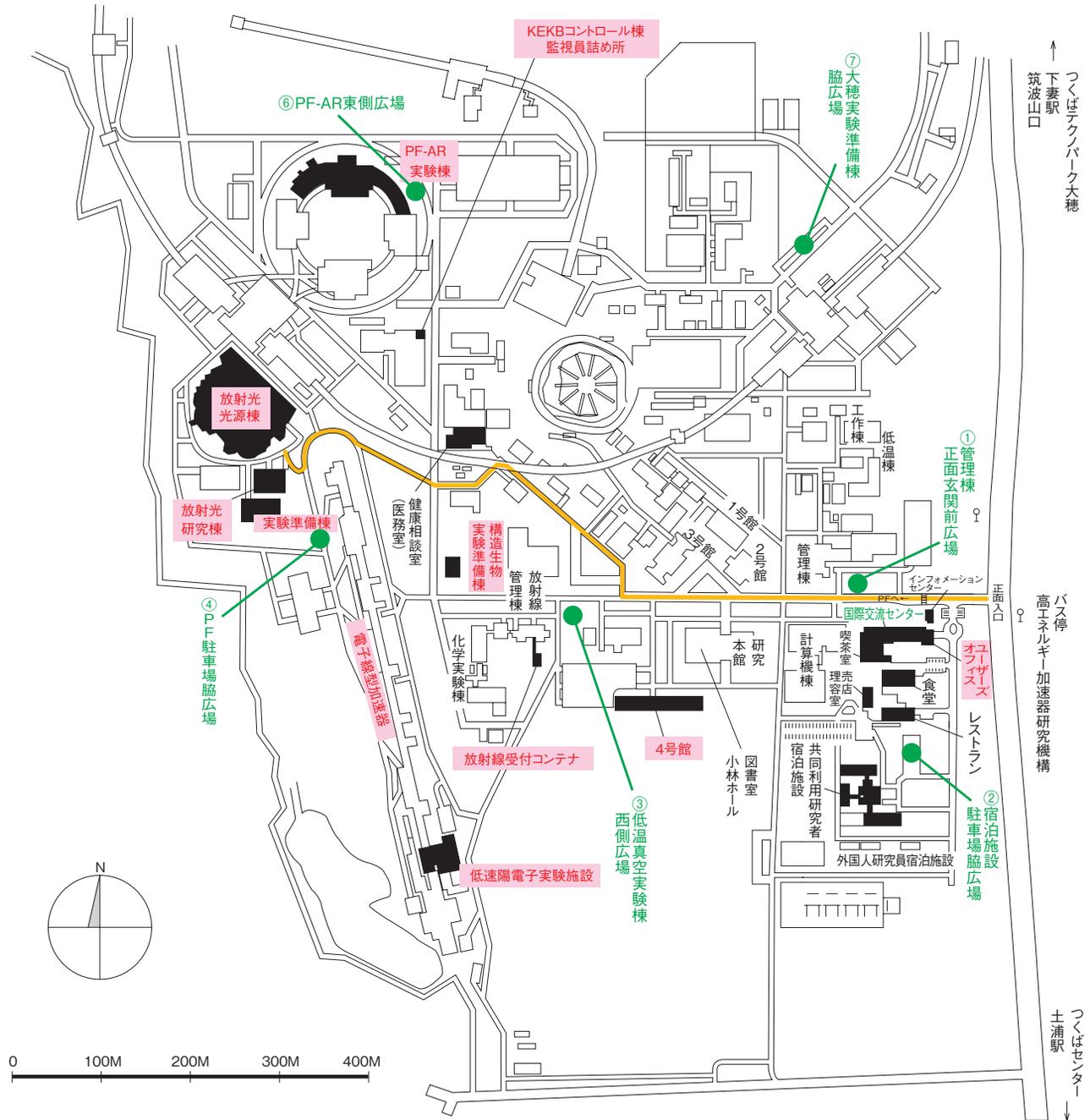
北コンテナ 男子仮眠室/ 物品倉庫 ☎5797	南コンテナ ユーザー控室/ 打ち合わせ室 ☎3322
----------------------------------	-------------------------------------

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 ☎864-5796 FAX兼用	試料準備室 ☎3847
	光学素子評価室 ☎3846		暗室 倉庫



高エネルギー加速器研究機構平面図 (物質構造科学研究所 放射光科学研究施設関係分)



- 歩行者・自転車用ルート
- 緊急時避難場所 Emergency Assembly Area

非常の際は、運転当番 4209 インフォメーションセンター 3399

